(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6590064号
(P6590064)
(45)発行日　令和1年10月16日(2019.10.16)　(24)登録日　令和1年9月27日(2019.9.27)

(51)Int.Cl.　F I
B25J 17/00 (2006.01)　B２５Ｊ 17/00 K
F16H 21/46 (2006.01)　Ｆ１６Ｈ 21/46

請求項の数 6　(全 96 頁)

(21)出願番号　特願2018-237362(P2018-237362)
(22)出願日　平成30年12月19日(2018.12.19)
(62)分割の表示　特願2018-529315(P2018-529315)の分割
原出願日　平成29年9月11日(2017.9.11)
(65)公開番号　特開2019-59018(P2019-59018A)
(43)公開日　平成31年4月18日(2019.4.18)
審査請求日　平成30年12月19日(2018.12.19)
(31)優先権主張番号　特願2016-205947(P2016-205947)
(32)優先日　平成28年10月20日(2016.10.20)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

早期審査対象出願

(73)特許権者　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
(74)代理人　100108431
弁理士　村上　加奈子
(74)代理人　100153176
弁理士　松井　重明
(74)代理人　100109612
弁理士　倉谷　泰孝
(72)発明者　川口　昇
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　山内　秀孝
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
最終頁に続く

(54)【発明の名称】ロボット

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
　胸部と、
　前記胸部の上部の左右に直列に接続した上腕部、前腕部、および手部を有する左右一対の上肢部と、
　左右の前記前腕部をそれぞれ前記上腕部に２回転自由度で回転可能に接続する左右一対の肘部とを備え
　前記肘部は、
　　前記前腕部と前記上腕部を２回転自由度で回転可能に接続する肘関節部、
　　長さが決まった肘部駆動主リンク、
　　長さが決まった肘部駆動補助リンク、
　　前記肘部駆動主リンクの一端が少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられる前記前腕部に設けられた前腕側主リンク取付部、
　　前記肘部駆動補助リンクの一端が少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられる前記肘部駆動主リンクに設けられた肘部駆動主リンク側補助リンク取付部、
　　前記肘部駆動主リンクおよび前記肘部駆動補助リンクの他端がそれぞれ少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられ、前記上腕部に沿って移動可能に前記上腕部に設けられた２個の上腕側リンク取付部、
　　２個の前記上腕側リンク取付部をそれぞれ移動させる移動部材、前記移動部材が前記上腕部に沿って移動するガイド部、前記ガイド部に対する前記移動部材の位置を変更する

力を発生させる動力源とをそれぞれ有する２本のリニアアクチュエータを有する、ロボット。
【請求項２】
左右の前記上腕部をそれぞれ前記胸部に２回転自由度で回転可能に接続する左右一対の肩部を備え、
前記肩部は、
前記胸部の上部の左右それぞれの端部から前記胸部の中心から遠い側でかつ後方側に延びた回転軸の回りの回転と前記回転軸と前記上腕部とがなす角度を変更する回転とが可能である２回転自由度で回転可能に前記上腕部を前記胸部に接続する肩関節部、
前記肩関節部よりも下側の位置で前記胸部に設けられた胸側主リンク取付部、　10
前記上腕部に設けられた上腕部主リンク取付部、
前記上腕部主リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ前記胸側主リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さが変更可能な上腕部駆動主リンク、および前記上腕部駆動主リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動主アクチュエータ、
前記肩関節部よりも下側かつ前記上腕部主リンク取付部とで前後方向に前記肩関節部を挟む位置の前記胸部に設けられた胸側補助リンク取付部、
前記上腕部駆動主リンクに設けられた上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部、
前記上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ前記胸側補助リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さが変更可能な上腕部駆動補助リンク、および前記上腕部駆動補助リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動補助アクチュエータを有する、請求項１に記載のロボット。　20
【請求項３】
前記上肢部の正面方向が前記胸部の正面方向に対して外側を向いている、請求項１または請求項２に記載のロボット。
【請求項４】
胸部と、
前記胸部の上部の左右に直列に接続した上腕部、前腕部、および手部を有する左右一対の上肢部と、
左右の前記上腕部をそれぞれ前記胸部に２回転自由度で回転可能に接続する左右一対の肩部とを備え、　30
前記肩部は、
前記胸部の上部の左右それぞれの端部から前記胸部の中心から遠い側でかつ後方側に延びた回転軸の回りの回転と前記回転軸と前記上腕部とがなす角度を変更する回転とが可能である２回転自由度で回転可能に前記上腕部を前記胸部に接続する肩関節部、
前記肩関節部よりも下側の位置で前記胸部に設けられた胸側主リンク取付部、
前記上腕部に設けられた上腕部主リンク取付部、
前記上腕部主リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ前記胸側主リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さが変更可能な上腕部駆動主リンク、および前記上腕部駆動主リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動主アクチュエータ、　40
前記肩関節部よりも下側かつ前記上腕部主リンク取付部とで前後方向に前記肩関節部を挟む位置の前記胸部に設けられた胸側補助リンク取付部、
前記上腕部駆動主リンクに設けられた上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部、
前記上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ前記胸側補助リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さが変更可能な上腕部駆動補助リンク、および前記上腕部駆動補助リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動補助アクチュエータを有する、ロボット。
【請求項５】
前記上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部が、前記上腕部駆動主リンクと前記上腕部　50

駆動補助リンクとが存在する平面内での１回転自由度で回転可能である、請求項２または請求項４に記載のロボット。
【請求項６】
　前記胸部が上方に接続する腰部と、
　前記腰部の下部の左右に直列に接続した大腿部、下腿部および足部をそれぞれ有する左右一対の下肢部とをさらに備えた請求項１から請求項５の何れか１項に記載のロボット。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
　本発明は、人に近い動きができるロボットに関する。　10
【背景技術】
【０００２】
　人と同様に、胴体、両腕、両脚、頭を有する人型ロボットが開発されている。従来の人型ロボットでは、関節部にモータとギヤを配置し、その軸上に関節交点を配置しているタイプが一般的である。そのような人型ロボットでは、回転自由度の分だけ関節にギヤを配置する必要があり、関節が大きくなる。関節で骨格を接続し、関節ごとに２本のアクチュエータによるリンクの伸縮により２回転自由度で関節を駆動する２足歩行ロボットが提案されている（特許文献１）。２個のアクチュエータによるリンクの伸縮により２回転自由度で関節を駆動し、さらに１個の回転アクチュエータを付加した、３回転自由度でロボットの足首、手首、首を駆動するロボットが提案されている（特許文献２）。また、固定側　20
部材に設けられた３自由度の軸受けに一端が接続され他端が可動側部材に接続する１本の固定長リンクと、固定側部材に３回転自由度の軸受けで一端が接続され他端が可動側部材に３自由度の軸受けで接続される３本の可変長リンクを有するパラレルリンク機構が提案されている（特許文献３）。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２００４－２０２６７６号
【特許文献２】特表２０１１－５２７６４１号
【特許文献３】特開２００３－１７２４１８号　30
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
　アクチュエータを使用することで、関節部をコンパクトにできる。しかし、関節が２回転自由度だと、例えば手首で捻りを伴う動作がでない。捻りを伴う動作ができないと、人に近い動作ができない場合がある。
　特許文献２の３回転自由度関節は、構造が複雑である。また、人間と相似な形状とすることを目的とするため、足首、手首を太くすることができず、支点である関節と作用点であるリンクの接続点の間隔が狭くなる。そのため、ロボットが出せる力が十分でない場合があると考えられる。　40
　特許文献３のパラレルリンク機構は、３本の可変長リンクと１本の固定長リンクが互いに平行になる状態を取りうる。３本の可変長リンクと１本の固定長リンクが互いに平行になる状態では、可変長リンクの長さを変化させても、固定長リンクの回りに回転させることができない。特許文献３のパラレルリンク機構は、動きに制約がある。
【０００５】
　この発明は、人に近い動きができる上肢部を有するロボットを得ることを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
　この発明に係るロボットは、胸部と、胸部の上部の左右に直列に接続した上腕部、前腕部、および手部を有する左右一対の上肢部と、左右の前腕部をそれぞれ上腕部に２回転自　50

由度で回転可能に接続する左右一対の肘部とを備えるものである。肘部は、前腕部と上腕部を２回転自由度で回転可能に接続する肘関節部、長さが決まった肘部駆動主リンク、長さが決まった肘部駆動補助リンク、肘部駆動主リンクの一端が少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられる前腕部に設けられた前腕側主リンク取付部、肘部駆動補助リンクの一端が少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられる肘部駆動主リンクに設けられた肘部駆動主リンク側補助リンク取付部、肘部駆動主リンクおよび肘部駆動補助リンクの他端がそれぞれ少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられ、上腕部に沿って移動可能に上腕部に設けられた２個の上腕側リンク取付部、２個の上腕側リンク取付部をそれぞれ移動させる移動部材、移動部材が上腕部に沿って移動するガイド部、ガイド部に対する移動部材の位置を変更する力を発生させる動力源とをそれぞれ有する２本のリニアアクチュエータを有する。

　さらに、胸部と、胸部の上部の左右に直列に接続した上腕部、前腕部、および手部を有する左右一対の上肢部と、左右の上腕部をそれぞれ胸部に２回転自由度で回転可能に接続する左右一対の肩部とを備えるものである。肩部は、胸部の上部の左右それぞれの端部から胸部の中心から遠い側でかつ後方側に延びた回転軸の回りの回転と回転軸と上腕部とがなす角度を変更する回転とが可能である２回転自由度で回転可能に上腕部を胸部に接続する肩関節部、肩関節部よりも下側の位置で胸部に設けられた胸側主リンク取付部、上腕部に設けられた上腕部主リンク取付部、上腕部主リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ胸側主リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さが変更可能な上腕部駆動主リンク、および上腕部駆動主リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動主アクチュエータと、肩関節部よりも下側かつ上腕部主リンク取付部とで前後方向に肩関節部を挟む位置の胸部に設けられた胸側補助リンク取付部、上腕部駆動主リンクに設けられた上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部、上腕部駆動主リンク側補助リンク取付部に一端が回転可能に取付けられ、かつ胸側補助リンク取付部に他端が回転可能に取付けられ、かつ長さが変更可能な上腕部駆動補助リンク、および上腕部駆動補助リンクの長さを変更する力を発生させる動力源を有する上腕部駆動補助アクチュエータとを有する。

【発明の効果】
【０００７】
　この発明によれば、人に近い動きができる上肢部を有するロボットを得ることができる。

【図面の簡単な説明】
【０００８】
【図１】この発明の実施の形態１に係る人型ロボットの斜視図である。
【図２】実施の形態１に係る人型ロボットの正面図である。
【図３】実施の形態１に係る人型ロボットの左側面図である。
【図４】実施の形態１に係る人型ロボットの背面図である。
【図５】実施の形態１に係る人型ロボットの上から見た平面図である。
【図６】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造を説明する斜視図である。
【図７】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造を説明する正面図である。
【図８】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造を説明する左側面図である。
【図９】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造を説明する背面図である。
【図１０】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造を説明する上から見た平面図である。
【図１１】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での上半身を左の手部側の斜め前から見た斜視図である。
【図１２】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での上半身を右の手部側の斜め後から見上げる斜視図である。
【図１３】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での上半身を右の手部側の斜め後

から見下ろす斜視図である。
【図１４】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での体幹部を拡大した正面図である。
【図１５】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での体幹部を拡大した背面図である。
【図１６】実施の形態１に係る人型ロボットが有する胸上部の正面図である。
【図１７】実施の形態１に係る人型ロボットが有する胸上部の左側面図である。
【図１８】実施の形態１に係る人型ロボットが有する胸上部の背面図である。
【図１９】実施の形態１に係る人型ロボットが有する胸上部の上から見た平面図である。
【図２０】実施の形態１に係る人型ロボットが有する胸上部の下から見た平面図である。　10
【図２１】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での腰部から下の部分を上から見た平面図である。
【図２２】実施の形態１に係る人型ロボットが有する体幹部を左の手部側の斜め前から見た斜視図である。
【図２３】実施の形態１に係る人型ロボットが有する体幹部を左の手部側の斜め後から見た斜視図である。
【図２４】実施の形態１に係る人型ロボットの上肢部が無い状態での体幹部の左側面図である。
【図２５】実施の形態１に係る人型ロボットで使用されるアクチュエータが有する可変長リンクの構造を説明する断面図である。　20
【図２６】実施の形態１に係る人型ロボットにおいて胸上部と胸下部の区分と胸部を動かす可変長リンクの配置を説明する側面から見た模式図である。
【図２７】実施の形態１に係る人型ロボットにおいて胸上部と胸下部の区分と胸部を動かす可変長リンクの配置を説明する正面から見た模式図である。
【図２８】実施の形態１に係る人型ロボットが有する胴体屈曲部での可変長リンクの配置を左の手部側の斜め後から見た斜視図である。
【図２９】実施の形態１に係る人型ロボットが有する胴体屈曲部の基準状態での可変長リンクの配置を背骨部が延在する方向から見た図である。
【図３０】実施の形態１に係る人型ロボットが有する３回転自由度接続機構で、捻り軸と可変長リンクの位置関係により可変長リンクの伸縮が捻り軸の回りに回転させるトルクが発生するかどうかを説明する図である。　30
【図３１】実施の形態１に係る人型ロボットが有する胴体屈曲部の胸部を回転させて前方に傾けた状態での可変長リンクの配置を背骨部が延在する方向から見た図である。
【図３２】実施の形態１に係る人型ロボットの頭部を拡大した側面図である。
【図３３】実施の形態１に係る人型ロボットの頭部を拡大した斜視図である。
【図３４】実施の形態１に係る人型ロボットが有する首部での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。
【図３５】実施の形態１に係る人型ロボットが有する首部の基準状態での可変長リンクの配置を首部中心棒が延在する方向から見た図である。
【図３６】実施の形態１に係る人型ロボットが有する首部の頭部を回転させて前方に傾けた状態での可変長リンクの配置を首部中心棒が延在する方向から見た図である。　40
【図３７】実施の形態１に係る人型ロボットの上半身の斜視図である。
【図３８】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の肩関節部での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。
【図３９】実施の形態１に係る人型ロボットの左の上肢部の正面図である。
【図４０】実施の形態１に係る人型ロボットの左の上肢部の側面図である。
【図４１】実施の形態１に係る人型ロボットの左の上肢部の肘関節部までの部分を拡大した正面図である。
【図４２】実施の形態１に係る人型ロボットの左の上肢部の肘関節部までの部分を拡大した側面図である。　50

【図４３】実施の形態１に係る人型ロボットが有する体幹部および上肢部で左右の肘関節部を９０度曲げた状態での正面図である。
【図４４】実施の形態１に係る人型ロボットが有する体幹部および上肢部で左右の肘関節部を９０度曲げた状態での上から見た平面図である。
【図４５】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の肘関節部のリンク配置を説明する斜視図である。
【図４６】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での左の肘関節部から先の部分を拡大した斜視図である。
【図４７】実施の形態１に係る人型ロボットの左の肘関節部から先の部分を拡大した正面図である。
【図４８】実施の形態１に係る人型ロボットの左の肘関節部から先の部分を外側のアクチュエータを除いた状態で拡大した左側面図である。
【図４９】実施の形態１に係る人型ロボットの左の肘関節部から先の部分を拡大した裏面図である。
【図５０】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手首部での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。
【図５１】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手首部の基準状態での可変長リンクの配置を前腕部が延在する方向から見た図である。
【図５２】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手首部を第４指部側に傾けた状態での可変長リンクの配置を前腕部が延在する方向から見た図である。
【図５３】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での腰部から下の部分の正面図である。
【図５４】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での腰部から下の部分の左側面図である。
【図５５】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での腰部から下の部分の背面図である。
【図５６】実施の形態１に係る人型ロボットの骨格構造での膝関節部から下の部分の斜視図である。
【図５７】実施の形態１に係る人型ロボットの大腿部を拡大した正面図である。
【図５８】実施の形態１に係る人型ロボットの大腿部を拡大した左側面図である。
【図５９】実施の形態１に係る人型ロボットの大腿部を拡大した背面図である。
【図６０】実施の形態１に係る人型ロボットの大腿部を右斜め前から見た斜視図である。
【図６１】実施の形態１に係る人型ロボットの大腿部を右斜め後から見た斜視図である。
【図６２】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の股部での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。
【図６３】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の股部の基準状態での可変長リンクの配置を大腿骨部が延在する方向から見た図である。
【図６４】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の股部の大腿部を左前方に上げた状態での可変長リンクの配置を大腿骨部が延在する方向から見た図である。
【図６５】実施の形態１に係る人型ロボットが有する股関節部を動かす可変長リンクを正面側で高く裏面側で低く取付けることによる効果を説明する図である。
【図６６】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の膝関節部を動かす可変長リンクの配置を説明する斜視図である。
【図６７】実施の形態１に係る人型ロボットの膝関節部から下の部分を拡大した正面図である。
【図６８】実施の形態１に係る人型ロボットの膝関節部から下の部分を拡大した左側面図である。
【図６９】実施の形態１に係る人型ロボットの膝関節部から下の部分を拡大した背面図である。
【図７０】実施の形態１に係る人型ロボットの下腿部から下の部分の斜視図である。

10 20 30 40 50

【図７１】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の足首関節部を動かす可変長リンクの配置を説明する斜視図である。
【図７２】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手部を手の平側から見た斜視図である。
【図７３】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手部を手の甲側から見た斜視図である。
【図７４】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手部の正面図である。
【図７５】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手部を対向可能指部が存在する側から見た側面図である。
【図７６】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手部の裏面図である。 10
【図７７】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手部を対向可能指部が存在しない側から見た側面図である。
【図７８】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手部を指先側から見た図である。
【図７９】実施の形態１に係る人型ロボットが有する左の手部の第２指部を断面で表示した図である。
【図８０】実施の形態１に係る人型ロボットが有する胸部内関節部と胸腰部接続関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。
【図８１】実施の形態１に係る人型ロボットが有する肩関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。 20
【図８２】実施の形態１に係る人型ロボットが有する肘関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。
【図８３】実施の形態１に係る人型ロボットが有する手首関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。
【図８４】実施の形態１に係る人型ロボットが有する足首関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。
【図８５】実施の形態１に係る人型ロボットが有する股関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。
【図８６】この発明の実施の形態２に係る人型ロボットの斜視図である。
【図８７】実施の形態２に係る人型ロボットの正面図である。 30
【図８８】実施の形態２に係る人型ロボットの左側面図である。
【図８９】実施の形態２に係る人型ロボットの背面図である。
【図９０】この発明の実施の形態３に係る人型ロボットが有する左の足部の平面図である。
【図９１】実施の形態３に係る人型ロボットが有する左の足部の左側面図である。
【図９２】実施の形態３に係る人型ロボットが有する左の足部の正面図である。
【図９３】実施の形態３に係る人型ロボットが有する左の足部の斜視図である。
【図９４】この発明の実施の形態４に係る人型ロボットが有するアクチュエータが有する可変長リンクの構造を説明する断面図である。
【図９５】この発明の実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部を手の甲側から見た斜視図である。 40
【図９６】実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部を手の平側から見た斜視図である。
【図９７】実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部の正面図である。
【図９８】実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部を第１指部が存在する側から見た側面図である。
【図９９】実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部の背面図である。
【図１００】実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部を指先側から見た側面図である。
【図１０１】実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部を手首側から見た側面図 50

である。
【図１０２】実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部の対向指部を曲げた状態で第１指部が存在する側から見た側面図である。
【図１０３】実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部の掌板部の平面図である。
【図１０４】実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部の対向指部の第２指節部付近を拡大した斜視図である。
【図１０５】この発明の実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態で手の甲側から見た斜視図である。
【図１０６】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態で手の甲側から見た斜視図である。
【図１０７】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での正面図である。
【図１０８】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での第１指部が存在する側から見た側面図である。
【図１０９】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での背面図である。
【図１１０】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での第４指部が存在する側から見た側面図である。
【図１１１】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態での指先側から見た側面図である。
【図１１２】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での正面図である。
【図１１３】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での第１指部が存在する側から見た側面図である。
【図１１４】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での裏面図である。
【図１１５】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での第４指部が存在する側から見た側面図である。
【図１１６】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態での指先側から見た側面図である。
【図１１７】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が伸びた状態で手の甲側から見た手幅回転指を拡大した斜視図である。
【図１１８】実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部を手幅回転指部が掌板部と交差する方向を向いた状態で手の甲側から見た手幅回転指を拡大した斜視図である。
【発明を実施するための形態】
【０００９】
　実施の形態１．
　図１は、この発明の実施の形態１に係る人型ロボット１００の斜視図である。人型ロボット１００の正面図、左側面図、背面図および平面図を、それぞれ図２、図３、図４および図５に示す。人型ロボット１００の骨格構造を説明する斜視図を図６に示す。人型ロボット１００を骨格だけにした場合の正面図、左側面図、背面図および平面図を、それぞれ図７、図８、図９および図１０に示す。人型ロボット１００の左右方向の軸をＸ軸とし、前後方向の軸をＹ軸とし、高さ方向の軸をＺ軸とする。右から左への向きをＸ軸の正の向きとし、前から後への向きをＹ軸の正の向きとし、下から上への向きをＺ軸の正の向きとする。
【００１０】
　図１から図５に示す、人型ロボット１００が直立し両腕を下ろした姿勢を基準状態と呼ぶ。基準状態は、人型ロボット１００が使用される際によく取る姿勢である。
【００１１】

人型ロボット１００は、人の体に似た構造を有する。人型ロボット１００は、体幹部１、体幹部１の上側中央に接続する頭部２、体幹部１の上部の左右から出る一対の上肢部３、体幹部１の下部から出る左右一対の下肢部４を有する。体幹部１は、上側の胸部５と下側の腰部６に分けられる。上肢部３は、上腕部７、前腕部８および手部９が直列に接続する。下肢部４は、腰部６から順に、大腿部１０、下腿部１１および足部１２が直列に接続する。左右一対の上肢部３は、右の上肢部３と左の上肢部３とが鏡像の関係となる構造を有する。左右一対の下肢部４についても同様に鏡像の関係が成立する。左右の上肢部３は、鏡像の関係にならない部分があってもよい。左右の下肢部４も、鏡像の関係にならない部分があってもよい。

【００１２】

人型ロボット１００では、首、肩、肘、手首、股、膝、足首などを構成する骨格を回転可能に接続する各関節部は、筋肉に相当するアクチュエータが有する長さが変更可能なリンク（可変長リンク）が長さを変えることにより動かされる。各関節部を動かす可変長リンクの数は、その関節部で必要な回転自由度の次数と同数である。可変長リンクは、その可動範囲内で長さを変更でき、可動範囲内の任意の長さを維持することができる。アクチュエータは、可変長リンクの長さを変更する力を発生させる動力源であるモータも有する。符合ＸＸのアクチュエータＸＸが有するリンクの符合をＸＸＬとし、モータの符合をＸＸＭと表記する。図には、可変長リンクの符合ＸＸＬ、モータの符合ＸＸＭを表示する。アクチュエータの符合ＸＸは、図には表示しない。

【００１３】

これまでの人型ロボットの多くは、各関節部にモータとギヤを配置し、その軸上に関節交点を配置している。そのため、関節部に要するスペースが大きくなり、コンパクトな関節部を作りにくい。それに対して、人型ロボット１００では、関節部の近くにギヤを配置する必要が無いので、関節部をコンパクトにできる。また、関節部で接続される骨格と並行してリンクが存在するので、関節部だけの場合よりも関節部が大きな力に耐えることができる。各関節部に必要な次数の回転自由度を持たせているので、人型ロボット１００は、人の動きに近い動きをすることができる。人と同様な動作ができることは、例えば、人が入れない区域などで人の替わりに作業するロボットとしては必要な条件である。

【００１４】

人型ロボット１００の各関節部の自由度は、首、手首、股、胸部５と腰部６の間は、前後左右に動かせ、捻りの動作もできる３回転自由度としている。肩、肘、足首は前後左右に動かせる２回転自由度としている。膝は、前後に動かせる１回転自由度としている。なお、肩、足首、肘などを３回転自由度にしてもよい。

【００１５】

胸部５は、胸上部５Ｕと胸下部５Ｄとに分かれている。胸上部５Ｕには、上腕部７および頭部１が接続する。胸下部５Ｄは、腰部６に接続する。胸上部５Ｕは、１回転自由度で上下方向に胸下部５Ｄに対する角度を変更できる。胸部５は、胸上部５Ｕを胸下部５Ｄに少なくとも１回転自由度を有して回転可能に接続する胸屈曲部Ｃ１（図２６に図示）を有する。

【００１６】

図１０から図２４を参照して、体幹部１の構造を説明する。図１１は、骨格構造での上半身を左の手部側の斜め前から見た斜視図である。図１２は、骨格構造での上半身を右の手部７側の斜め後から見上げる斜視図である。図１３は、骨格構造での上半身を右の手部７側の斜め後から見下ろす斜視図である。図１４は、骨格構造での体幹部１を拡大した正面図である。図１５は、骨格構造での体幹部１を拡大した背面図である。図１６から図１８は、胸上部５Ｕの正面図、左側面図、背面図である。図１９は、胸上部５Ｕを上から見た平面図である。図２０は、胸上部５Ｕを下から見た平面図である。図２１は、骨格構造での腰部６から下の部分を上から見た平面図である。図２２は、体幹部１を左の手部７側の斜め前から見た斜視図である。図２３は、体幹部１を左の手部７側の斜め後から見た斜視図である。図２４は、上肢部３が無い状態での体幹部１の左側面図である。

【００１７】
　主に図１０から図２１を参照して、体幹部１を構成する骨格と、筋肉に相当するアクチュエータが有する可変長リンクが取付けられる箇所に関して説明する。胸部５は、肩部フレーム５１、胸郭部フレーム５２、胸郭部前後連結フレーム５３、胸部中央連結フレーム５４、胸部内関節部フレーム５５、背骨部５６、リンク取付用フレーム５７を有する。胸上部５Ｕは、肩部フレーム５１、胸郭部フレーム５２、胸郭部前後連結フレーム５３、胸部中央連結フレーム５４および胸部内関節部フレーム５５を有して構成される。胸下部５Ｄは、背骨部５６およびリンク取付用フレーム５７を有して構成される。胸部内関節部１６は、胸上部５Ｕと胸下部５Ｄとを上下方向に回転可能な１回転自由度で接続する。
【００１８】
　肩部フレーム５１は、両肩に相当する位置を結ぶフレームである。胸郭部フレーム５２は、肩部フレーム５１の下側の左右に設けられた折れ曲がったフレームである。胸郭部フレーム５２には、上腕部７を動かすための可変長リンクが取付けられる。胸郭部前後連結フレーム５３は、胸郭部フレーム５２を前後方向で連結するフレームである。胸部中央連結フレーム５４は、左右の胸郭部前後連結フレーム５３を連結するフレームである。胸部内関節部フレーム５５は、左右の胸郭部前後連結フレーム５３のそれぞれの下側に設けられた板状のフレームである。胸部内間接部フレーム５５は、背骨部５６とともに胸部内間接部１６を構成する。
【００１９】
　背骨部５６は、正面から見るとＴ字状の棒である。背骨部５６の上側の水平方向の円筒状の部分を、胸内回転軸部５６Ｔと呼ぶ。２枚の胸部内関節部フレーム５５が胸内回転軸部５６Ｔを回転可能に挟んで保持することで、胸部内関節部１６が構成される。
【００２０】
　背骨部５６の縦に延在する部分は円柱状である。背骨部５６は、胸部５と腰部６とを連結する連結棒である。背骨部５６の下端には、背骨部５６を腰部６に３回転自由度で接続する胸腰部関節部１８が設けられる。胸腰部関節部１８には、球面軸受が用いられる。リンク取付用フレーム５７は、胸内回転軸部５６Ｔの上側に接続する。リンク取付用フレーム５７には、胸部５を腰部６に対して回転させる可変長リンクが取付けられる。なお、図１６から図２０では、胸部５を腰部６に対して回転させる可変長リンクの取付位置が分るように、胸上部５Ｕおよびリンク取付用フレーム５７を図示する。
【００２１】
　肩部フレーム５１は、図１０に示すように左右の端部がＸ軸に対して角度ξ1だけ後方に曲がっている。肩部フレーム５１の両端には、上腕部７を２回転自由度で胸部５に接続する肩関節部１３が接続する。肩関節部１３は、直交する２つの回転軸を有する２軸ジンバルである。肩関節部１３の２軸ジンバルは、肩部フレーム５１の方向に存在する回転軸の回りを回転する部材（回転部材と呼ぶ）を、上腕部７の側に設けられたヨークが上腕部７と回転部材とがなす角度を変更可能（回転可能）に挟む形状である。ヨークとは、他の部材を回転可能に保持する穴または突起が設けられた互いに対向する部材である。ヨークに設けられた穴に保持され、他の部材を回転可能にする部材を軸部材と呼ぶ。２軸ジンバルでは、回転部材の回転軸と軸部材は直交する。肩関節部１３では、回転部材の回転軸と直交する直線上に存在する２個の突起を、ヨークに設けた穴に入れる。そうすることで、ヨークは回転部材を回転可能に保持する。肩関節部１３はこのような構造なので、上腕部７は、肩部フレーム５１の方向の回転軸の回りを回転できる。また、上腕部７と肩部フレーム５１とがなす角度も変更できる。
【００２２】
　胸郭部フレーム５２は、肩部フレーム５１において左右の端部が後方に曲がる箇所よりも少し中央側で肩部フレーム５１の下側に接続する。胸郭部フレーム５２は、前後方向から見るとＬ字状であり、側面から見ると下側の辺を有しない長方形の上側の両角を切ったように見える形状である。肩部フレーム５１から前後方向および下方に延びる胸郭部フレーム５２は、Ｌ字状に折れ曲がって中央側に水平に延びる。胸郭部フレーム５２の前側お

よび背面側で水平に延びる部分は、中央側で胸郭部前後連結フレーム５３により連結される。左右の胸郭部前後連結フレーム５３は、胸部中央連結フレーム５４により連結される。
【００２３】
胸郭部フレーム５２の前側のＬ字状の角の部分に、胸側主リンク取付部Ｊ１が設けられる。胸側主リンク取付部Ｊ１に、上腕部７を動かすための上腕部駆動主アクチュエータ１４が有する可変長リンクである上腕部駆動主リンク１４Ｌ（図３７に図示）が２回転自由度で回転可能に取付けられる。背中側のＬ字状の角の部分に、胸側補助リンク取付部Ｊ２が設けられる。胸側補助リンク取付部Ｊ２は、上腕部駆動補助リンク１５Ｌが２回転自由度で回転可能に取付けられる２軸ジンバルである。肩部フレーム５１の下側で胸郭部フレーム５２の間には、上腕部駆動主アクチュエータ１４および上腕部駆動補助アクチュエータ１５が自由に動ける空間が存在する。
【００２４】
胸側主リンク取付部Ｊ１は、胸郭部フレーム５２に垂直な回転軸（Ｙ軸）の回りに回転する回転部材に取付けられたヨークが、上腕部駆動主リンク１４Ｌの角筒状の部分の対向する側面から垂直に設けられた円柱状の突起（軸部材）を回転可能に挟んで保持する構造である。胸側補助リンク取付部Ｊ２も、同様な構造である。つまり、胸側主リンク取付部Ｊ１および胸側補助リンク取付部Ｊ２は、胸郭部フレーム５２側に回転部材とヨークを有する２軸ジンバルである。
【００２５】
胸郭部前後連結フレーム５３の中央部下側には、ＹＺ平面に平行な板状の胸部内関節部フレーム５５が接続する。胸部内関節部フレーム５５には、背骨部５６の上部に設けられた水平な円筒状の部分である胸内回転軸部５６Ｔを回転可能に保持する機構が設けられる。２枚の胸部内関節部フレーム５５が胸内回転軸部５６Ｔを回転可能に挟んで保持することで、胸部内関節部１６が構成される。胸部内関節部１６は、胸上部５Ｕと胸下部５Ｄとを前後方向に回転可能な１回転自由度で接続する。胸上部５Ｕと胸下部５Ｄとの間の接続角度は、胸上部５Ｕに一端が接続され、胸下部５Ｄに他端が接続される胸部内リンク１７Ｌ（図２２に図示）の長さにより決まる。胸部内アクチュエータ１７は、胸部５の前側中央に設けられる。
【００２６】
胸部内リンク１７Ｌの一端は、下側胸部内リンク取付部Ｊ３により背骨部５６に回転可能に取付けられる。背骨部５６から前方に下側胸部内リンク取付部Ｊ３のヨークが出て、胸部内リンク１７Ｌを回転可能に挟む。胸部内リンク１７Ｌのもう一端は、上側胸部内リンク取付部Ｊ４により胸部中央連結フレーム５４に回転可能に取付けられる。上側胸部内リンク取付部Ｊ４のヨークは、胸部中央連結フレーム５４に設けられる。胸屈曲部Ｃ１は、胸部内関節部１６、胸部内アクチュエータ１７、上側胸部内リンク取付部Ｊ４、下側胸部内リンク取付部Ｊ３を有して構成される。
【００２７】
胸部５と腰部６の間には、図２２、図２３および図２４に示すように、３本の胸腰部中央アクチュエータ１９、胸腰部右アクチュエータ２０、胸腰部左アクチュエータ２１が存在する。胸腰部中央リンク１９Ｌは、胸部５の下部の背中側中央の点から腰部６の胸腰部関節部１８の背中側中央の点を結ぶ。胸腰部右リンク２０Ｌは、胸部５の下部の前側右の点から腰部６の背中側右の点を結ぶ。胸腰部左リンク２１Ｌは、胸部５の下部の前側左の点から腰部６の背中側左の点を結ぶ。上から見ると、胸腰部右リンク２０Ｌと胸腰部左リンク２１Ｌは、背骨部５６を挟むように存在する。胸腰部右リンク２０Ｌと胸腰部左リンク２１Ｌは、胸部５では正面側の位置から腰部６では背面側の位置に向かう。
【００２８】
リンク取付用フレーム５７には、背中側の中央に胸部中央リンク取付部Ｊ５、前側右に胸部右リンク取付部Ｊ６、前側左に胸部左リンク取付部Ｊ７が設けられる。胸部中央リンク取付部Ｊ５、胸部右リンク取付部Ｊ６、胸部左リンク取付部Ｊ７は、基準状態で胸部内

関節部１６と同じ高さになるように設けられる。胸部中央リンク取付部Ｊ５、胸部右リンク取付部Ｊ６、胸部左リンク取付部Ｊ７には、それぞれ胸腰部中央リンク１９Ｌ、胸腰部右リンク２０Ｌ、胸腰部左リンク２１Ｌの一端が２回転自由度で取付けられる。

【００２９】

胸部中央リンク取付部Ｊ５は、リンク取付用フレーム５７から背面側に出るＹ軸に平行な回転軸の回りに回転するヨークが胸腰部中央リンク１９Ｌを回転可能に挟む構造である。胸部右リンク取付部Ｊ６は、リンク取付用フレーム５７から右斜め前に出る回転軸の回りに回転するヨークが胸腰部右リンク２０Ｌを回転可能に挟む構造である。胸部左リンク取付部Ｊ７は、リンク取付用フレーム５７から左斜め前に出る回転軸の回りに回転するヨークが胸腰部左リンク２１Ｌを回転可能に挟む構造である。

【００３０】

胸腰部中央アクチュエータ１９が有する可変長リンクである胸腰部中央リンク１９Ｌを例にして、可変長リンクの構造を説明する。図２５は、アクチュエータが有する可変長リンクの構造を説明する断面図である。図２５には、断面表示しないモータ１９Ｍも示す。モータ１９Ｍと円筒１９Ｃとは、互いの位置関係が固定されている。胸腰部中央リンク１９Ｌは、ねじ棒１９Ａ、ナット１９Ｂ、円筒１９Ｃ、ナット位置固定部１９Ｄ、ナット回転保持部１９Ｅ、ナットギヤ１９Ｆを有する。ねじ棒１９Ａは、側面に雄ねじが設けられた断面が円形の棒である。ナット１９Ｂは、ねじ棒１９Ａとかみ合う雌ねじが内面に設けられた貫通穴を有する雌ねじ部材である。円筒１９Ｃは、ねじ棒１９Ａの一部およびナット１９Ｂを内部に収容する。ナット位置固定部１９Ｄは、円筒１９Ｃに対するナット１９Ｂの軸方向の位置を固定する。ナット回転保持部１９Ｅは、ナット１９Ｂを円筒１９Ｃに対して回転可能に保持する。ナットギヤ１９Ｆは、ナット１９Ｂと共に回転するギヤである。

【００３１】

ナット位置固定部１９Ｄは、ナット１９Ｂを移動させないように円筒１９Ｃの内部に周方向に設けられた突起である。ナット位置固定部１９Ｄである突起は、ナット１９Ｂが有する周方向に設けられた突起を挟むように設けられる。ナット位置固定部１９Ｄは、ナット回転保持部１９Ｅの両側とナットギヤ１９Ｆとナット１９Ｂとの接続部分の３箇所に設けている。ナット位置固定部１９Ｄは、円筒１９Ｃに対するナット１９Ｂの軸方向の相対位置を固定するものであれば、どのようなものでもよい。ねじ棒１９Ａの軸方向は、円筒１９Ｃの長さ方向でもある。

【００３２】

ナットギヤ１９Ｆは、円筒１９Ｃの外側に配置される。ナットギヤ１９Ｆは、モータ１９Ｍの回転軸に設けられた駆動ギヤ１９Ｇとかみ合う。駆動ギヤ１９Ｇが回転すると、ナットギヤ１９Ｆおよびナット１９Ｂが回転する。ナット１９Ｂが回転すると、ナット１９Ｂはねじ棒１９Ａに対して移動することになる。ナット１９Ｂの位置は円筒１９Ｃの長さ方向に対して固定されているので、ナット１９Ｂが回転すると、ねじ棒１９Ａがナット１９Ｂおよび円筒１９Ｃに対して移動する。

【００３３】

ねじ棒１９Ａの一端が、胸部中央リンク取付部Ｊ５により、リンク取付用フレーム５７に回転可能に取付けられる。円筒１９Ｃの一端が、腰部中央リンク取付部Ｊ１０により、腰部主フレーム６１に回転可能に取付けられる。ねじ棒１９Ａが円筒１９Ｃから出る方向に移動すると、胸部中央リンク取付部Ｊ５と腰部中央リンク取付部Ｊ１０の距離が長くなる。ねじ棒１９Ａが円筒１９Ｃに入る方向に移動すると、胸部中央リンク取付部Ｊ５と腰部中央リンク取付部Ｊ１０の距離が短くなる。このように、胸腰部中央リンク１９Ｌはその長さが変更可能であり、その両端が取付けられる２点間の距離を変更することができる。

【００３４】

胸腰部中央リンク１９Ｌが有するねじ棒１９Ａの側の端は、胸部５ではなく、腰部６に取付けられてもよい。その場合には、円筒１９Ｃは、胸部５に取付けられる。雄ねじが設

けられたねじ棒１９Ａは、その一端が胸腰部中央リンク１９Ｌの両側のリンク取付部のどちらかに取付けられる。円筒１９Ｃの一端は、胸腰部中央リンク１９Ｌの両端のリンク取付部の中で、ねじ棒１９Ａが取付けられていないリンク取付部に取付けられる。
【００３５】
　ナット１９Ｂは、ねじ棒１９Ａに設けられた雄ねじとかみ合う雌ねじが内面に設けられた貫通穴を有する。ナット１９Ｂは、モータ１９Ｍからの力が伝えられて回転する回転部材である。円筒１９Ｃは、ねじ棒１９Ａおよびナット１９Ｂを収容する筒である。ナット位置固定部１９Ｄは、ねじ棒１９Ａの軸方向での円筒１９Ｃに対するナット１９Ｂの相対位置を固定する回転部材位置固定部である。ナット回転保持部１９Ｅは、ナット１９Ｂと円筒１９Ｃの間に設けられて、ナット１９Ｂを円筒１９Ｃに対して回転可能に保持する回転部材保持部である。回転部材保持部を有するので、可変長リンクである胸腰部中央リンク１９Ｌは軸回りの回転を可能とする１回転自由度を有する。軸回りの回転とは、リンクの両端で軸回りの回転角度が異なることである。可変長リンクが１回転自由度を有するので、その両端を取付けるリンク取付部は２回転自由度を有するものでよい。可変長リンクが１回転自由度を有しない場合は、どちらかの端を取付けるリンク取付部は３回転自由度を有するようにする。ここで、可変長リンクがその両端が２回転自由度で取付部に取付けられ軸回りに１回転自由度を有する場合、または、可変長リンクがその一端が３回転自由度で取付部に取付けられ他端が２回転自由度で取付部に取付けられる場合を、可変長リンクが５回転自由度を有すると定義する。
【００３６】
　胸腰部右リンク２０Ｌ、胸腰部左リンク２１Ｌおよび他のアクチュエータが有する可変長リンクも同様な構造である。
【００３７】
　ねじ棒とナットとの間のねじは、ボールネジや台ねじなどの回転時の摩擦係数が小さいものを使用する。ねじのピッチが同じであれば、摩擦係数が小さければ、可変長リンクの長さを変更するために必要な力が小さくなる。そのため、モータは、摩擦係数が大きい場合よりも最大出力が小さいものでよくなる。アクチュエータが動作する場合の消費電力も小さくなる。静止時の摩擦力の大きさは、モータが駆動力を発生させなくてもナットが回転しない程度の大きさとする。そうすることで、電力供給が遮断された場合にも、人型ロボットの各関節部において電力が途絶える前の角度を維持できる。人型ロボットが静止していた場合は、その姿勢を維持できる。人型ロボットが物体を保持していた場合は、物体を保持したままの状態を維持できる。
【００３８】
　摩擦力の大きさは、電力供給が遮断された状況で、１人または複数人の力で、各関節部の角度を変更できるような大きさとする。電力供給が遮断された災害時などに、人型ロボットが負傷した人の救助などに邪魔になる可能性がある。人型ロボットの姿勢を変更できれば、例えば救助の邪魔にならないような姿勢に変更したり、移動させたりできる。可変長リンクの長さを変更させようとする力によりナットが回転するかどうかは、ねじの摩擦係数だけでなくピッチも関係する。摩擦係数が同じでもピッチを小さくすれば、ナットが回転する力の最小値を大きくできる。ねじのピッチと摩擦係数の大きさは、ナットが回転する可変長リンクの長さを変更させようとする力の最小値が、適切な大きさになるように決める。
【００３９】
　ねじ棒およびナットを収容する筒は、角筒でもよく、平面と曲面が組み合わさった側面を持つものでもよい。長さ方向で筒の径が変化してもよい。ねじ棒の一端が少なくとも２回転自由度を持たせてリンク取付部に取付けられ、筒またはモータ側の端が少なくとも２回転自由度を持たせてリンク取付部に取付けられるものであれば、可変長リンクはどのような構造でもよい。リンク取付具を介して筒またはモータ側の端をリンク取付部に取付けてもよい。リンク取付具を使用する場合は、ねじ棒、筒およびリンク取付具が可変長リンクになる。筒の端部でない部分をリンク取付部に取付けてもよい。その場合には、リンク

取付部に取付けられる筒の箇所までが可変長リンクであり、可変長リンクの一端がリンク取付部に取付けられることになる。
【００４０】
腰部６は、胸腰部関節部１８が設けられる腰部主フレーム６１、下肢部７が接続される下肢部接続フレーム６２、腰部主フレーム６１の背面側の下部を覆う腰部カバー６３を有する。下肢部接続フレーム６２は、左右にそれぞれ１個が設けられる。腰部カバー６３と腰部主フレーム６１の間の空間には、電源装置を配置したり、配線などを通したりする。
【００４１】
腰部主フレーム６１は、上から見ると長方形の前側に円が一部重なって接続し、背面側の左右対称な位置に後方に出た２つの厚板状の部分を有する。前側の上から見て円の部分は、胸腰部関節部１８が存在する円筒である。胸腰部関節部１８は、背骨部５６の一端に設けられた球面を３回転自由度で保持する球面軸受けで構成される。図１２に示すように、後方に出た２つの厚板状の部分の上側に、胸腰部右リンク２０Ｌ、胸腰部左リンク２１Ｌの他端が２回転自由度でそれぞれ取付けられる腰部右リンク取付部Ｊ８、腰部左リンク取付部Ｊ９が設けられる。腰部主フレーム６１の上部の背面側の中央に、胸腰部中央リンク１９Ｌが２回転自由度で取付けられる腰部中央リンク取付部Ｊ１０が設けられる。
【００４２】
腰部右リンク取付部Ｊ８、腰部左リンク取付部Ｊ９、腰部中央リンク取付部Ｊ１０は２軸ジンバルである。腰部右リンク取付部Ｊ８、腰部左リンク取付部Ｊ９は、可変長リンクに設けられた軸部材が入る貫通穴を有するヨークが回転可能に上向きに設けられる。腰部中央リンク取付部Ｊ１０は、貫通穴を有するヨークが回転可能に背面側に向けて設けられる。
【００４３】
図２６は、胸上部５Ｕと胸下部５Ｄの区分と胸部５を動かす可変長リンクの配置を説明する側面から見た模式図である。図２６では、リンク配置を理解しやすくするため、胸部内リンク１７Ｌを実際よりも前側に図示している。図２７は、正面から見た模式図である。胸下部５Ｄは、ハッチングを付けて示す。胸下部５Ｄは、３本の可変長リンクにより胸腰部関節部１８の回りをＸ軸、Ｙ軸、Ｚ軸の回りに回転できる。胸上部５Ｕは、胸下部５Ｄに対して１本の可変長リンクによりＸ軸の回りに回転できる。
【００４４】
胴体屈曲部Ｃ２は、胸部５を腰部６に３回転自由度で接続する３回転自由度接続機構である。胴体屈曲部Ｃ２は、胸腰部関節部１８、胸腰部中央アクチュエータ１９、胸腰部右アクチュエータ２０、胸腰部左アクチュエータ２１、胸部中央リンク取付部Ｊ５、胸部右リンク取付部Ｊ６、胸部左リンク取付部Ｊ７、腰部中央リンク取付部Ｊ１０、腰部右リンク取付部Ｊ８、腰部左リンク取付部Ｊ９を有する。３回転自由度とは、胸部５を腰部６に対して前後方向（Ｘ軸回りの回転）に傾けることで１自由度、左右方向（Ｙ軸回りの回転）に傾けることで１自由度、背骨部５６（Ｚ軸）の回りに胸部５を腰部６に対して旋回させることで１自由度、合計で３自由度を有して回転できることである。この発明に係る３回転自由度接続機構は、３回転自由度の関節部と３本のアクチュエータという簡素な構造である。
【００４５】
胴体屈曲部Ｃ２を３回転自由度接続機構として一般的に考えると、胴体屈曲部Ｃ２は、接続する側の第２部材である胸部６を、接続される側の第１部材である腰部５に対して３回転自由度で回転可能に接続する。胸腰部関節部１８は、胸部５を腰部６に３回転自由度で接続する関節部である。背骨部５６は、胸部５に対して方向が固定された捻り軸である。胸部５は、背骨部５６の回りを腰部６に対して回転可能である。３回転自由度接続機構では、腰部６に近い側を第１部材とする。腰部６から遠い側を第２部材とする。
【００４６】
胸腰部中央アクチュエータ１９、胸腰部右アクチュエータ２０および胸腰部左アクチュエータ２１は、長さが変更可能な可変長リンク、可変長リンクの長さを変更する力を発生

させるモータをそれぞれ有する３本のアクチュエータである。腰部中央リンク取付部Ｊ１０、腰部右リンク取付部Ｊ８および腰部左リンク取付部Ｊ９は、腰部６（第１部材）に設けられた３個の第１部材側リンク取付部である。３個の第１部材側リンク取付部のそれぞれには、３本のアクチュエータのそれぞれの一端が少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられる。腰部中央リンク取付部Ｊ１０、腰部右リンク取付部Ｊ８および腰部左リンク取付部Ｊ９は、胸腰部関節部１８に対する相対的な位置関係が固定されている。胸部中央リンク取付部Ｊ５、胸部右リンク取付部Ｊ６および胸部左リンク取付部Ｊ７は、胸部５（第２部材）に設けられた３個の第２部材側リンク取付部である。３個の第２部材側リンク取付部のそれぞれには、３本のアクチュエータのそれぞれの他端が少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられる。胸部中央リンク取付部Ｊ５、胸部右リンク取付部Ｊ６および胸部左リンク取付部Ｊ７は、胸腰部関節部１８に対する相対的な位置関係が固定されている。

【００４７】

人型ロボット１００が直立した基準状態では、胴体屈曲部Ｃ２は、回転可能な３つの軸の中で捻り軸（背骨部、Ｚ軸）および他の２つの回転軸（Ｘ軸とＹ軸）の何れも両方向に回転可能である。３本のリンクと捻り軸とがなす３個の角度の最大値が決められた角度δ0（例えば、３度程度）以上であるように、胸部中央リンク取付部Ｊ５、胸部右リンク取付部Ｊ６、胸部左リンク取付部Ｊ７、腰部中央リンク取付部Ｊ１０、腰部右リンク取付部Ｊ８、腰部左リンク取付部Ｊ９は、配置されている。

【００４８】

人型ロボット１００が有するすべての３回転自由度接続機構では、基準状態で捻り軸および他の２つの回転軸の少なくとも一つで両方向に回転可能に決められている。つまり、それぞれの３回転自由度接続機構の基準状態では、捻り軸を含む少なくとも２つの回転軸で両方向に回転可能である。

【００４９】

胴体屈曲部Ｃ２は、例えば、胸腰部関節部１８から上の上半身を前方向に２０度程度、後方向に２０度程度、左右方向に２０度程度傾けることができる。また、背骨部５６の回りに両方向に２０度程度、胸部５を腰部６に対して回転させる（捻る）ことができる。さらに、胸部内関節部１６により胸上部５Ｕを胸下部５Ｄに対して前方向に例えば１５度程度、後ろ方向に２０度程度、前後に傾けることができる。そのため、例えば、胸下部５Ｄを前後方向に傾けても胸上部５Ｕを鉛直に保つことができる。また、両手を作業しやすい位置になるような姿勢をとることができる。なお、可動範囲は一例であって、より広くあるいはより狭く可動範囲を決めることも可能である。

【００５０】

人型ロボット１００が直立した基準状態での胴体屈曲部Ｃ２での可変長リンクの配置を左の手部側斜め後から見た斜視図を図２８に示す。胸腰部関節部１８に対して位置が固定された胸下部５Ｄ側の３個の第２部材側リンク取付部Ｊ５、Ｊ６、Ｊ７と腰部６側で胸腰部関節部１８に対して位置が固定された３個の第１部材側リンク取付部Ｊ１０、Ｊ８、Ｊ９とをそれぞれ結ぶ３本の可変長リンク１９Ｌ、２０Ｌ、２１Ｌを、胴体屈曲部Ｃ２は有する。そのため、３本の可変長リンク１９Ｌ、２０Ｌ、２１Ｌの長さを変更することで、胸下部５Ｄの腰部６に対する接続角度を３回転自由度で変更できる。胸腰部関節部１８のＸ軸回りの回転角度をαs、Ｙ軸回りの回転角度をβs、Ｚ軸回りの回転角度をγsとする。胸上部５Ｕは胸下部５Ｄに対して、胸部内関節部１６によりＸ軸回りに回転できる。胸部内関節部１６でのＸ軸回りの回転角度をψとする。

【００５１】

胸腰部関節部１８などの関節部が回転することで変化する捻り軸が向く方向の取りうる範囲を、関節の可動範囲と呼ぶ。胸腰部関節部１８の前後方向、左右方向、背骨部５６の回りに回転可能な角度範囲として前に示した例は、その回転軸での取りうる最大角度範囲を示すものである。ある回転軸で取りうる角度範囲は、他の回転軸が取っている角度の影響を受ける。そのため、各回転軸の角度範囲を任意に組み合わせて得られる領域がすべて

可動範囲になる訳ではない。他の関節部に関しても同様である。

【００５２】

図２９は、胴体屈曲部Ｃ２での可変長リンクの配置を背骨部が延在する方向から見た図である。図２９では、捻り軸である背骨部５６を、二重丸で表す。第２部材側リンク取付部である胸部中央リンク取付部Ｊ５、胸部右リンク取付部Ｊ６および胸部左リンク取付部Ｊ７を、白丸で表す。第１部材側リンク取付部である腰部中央リンク取付部Ｊ１０、腰部右リンク取付部Ｊ８および腰部左リンク取付部Ｊ９は、黒丸で表す。可変長リンクである胸腰部中央リンク１９Ｌ、胸腰部右リンク２０Ｌおよび胸腰部左リンク２１Ｌを、太線で示す。他の同種の図でも同様に表す。３個の第２部材側リンク取付部を結んでできる三角形を第２部材側三角形Ｔ１と呼ぶ。

【００５３】

図２８および図２９から以下のことが分る。可変長リンク２０Ｌ、２１Ｌが長く、捻り軸５６に対してねじれの位置にあり、水平面に対して大きく傾斜している。捻り軸５６の方向から見た場合は、可変長リンク２０Ｌ、２１Ｌがほぼ並行しており、捻り軸５６を挟むように存在する。可変長リンク２０Ｌを短くする捻り軸５６の回りの回転方向と、可変長リンク２１Ｌを短くする捻り軸５６の回りの回転方向とは、互いに逆向きになっている。そのため、第２部材６を回転させると、可変長リンク２０Ｌ、２１Ｌの一方の長さが長くなり、もう一方の長さがが短くなる。そのため、捻り軸５６の回りに回転する際に、伸びるリンクにより押される力と、短くなるリンクにより引かれる力の両方が発生して、捻り軸５６の回りに回転しやすくなる。胴体屈曲部Ｃ２では、可動範囲内の各状態で、捻り軸の回りに回転する際に、長さが長くなる可変長リンクと短くなる可変長リンクとが存在する。

【００５４】

二重丸で表される捻り軸５６は、第２部材側三角形Ｔ１の内部であり、かつ第２部材側三角形Ｔ１の底辺の２等分線上に存在する。第２部材側三角形の底辺の２等分線を対称軸線と呼び、底辺を対称軸垂直線と呼ぶ。可変長リンク２０Ｌ、２１Ｌを同じように伸ばし、可変長リンク１９Ｌを縮めると、対称軸線の方向で第２部材６の傾きを変えることができる。可変長リンク２０Ｌ、２１Ｌを同じように縮め、可変長リンク１９Ｌを伸ばせば、対称軸線の方向で第２部材６の傾きを反対向きに変えることができる。また、可変長リンク１９Ｌの長さを変えないで、可変長リンク２０Ｌを長くし可変長リンク２１Ｌを短くする、あるいは、可変長リンク２０Ｌを短くし可変長リンク２１Ｌを長くすると、対称軸垂直線の方向で第２部材６の傾きを変えることができる。

【００５５】

可変長リンクの伸縮により捻り軸の回りに第２部材が回転できるリンク配置についての条件について考察する。図３０に、捻り軸と可変長リンクの位置関係により可変長リンクの伸縮が捻り軸の回りに回転させるトルクが発生するかどうかを説明する図を示す。図３０では、可変長リンクＬ３の下端（白丸で示す）は捻り軸との位置関係が固定であるとする。図３０(a)には、捻り軸Ｇ１と可変長リンクＬ１とが平行である場合を示す。図３０(b)には、捻り軸Ｇ２と可変長リンクＬ２とが同一平面上にあり平行でない場合を示す。図３０(c)には、捻り軸Ｇ３と可変長リンクＬ３とがねじれの関係にある場合を示す。各場合では、捻り軸の方向から見た図を上側に、捻り軸に垂直な方向から見た図を下側に示す。図３０(c)では、捻り軸に垂直かつ可変長リンクＬ３の下端Ｐ３が捻り軸Ｇ３上に来る方向（矢印Ａで示す）から見た図も示す。

【００５６】

捻り軸Ｇ１と可変長リンクＬ１とが平行である場合は、図３０(a)に示すように、捻り軸Ｇ１の方向から見ると、捻り軸Ｇ１と可変長リンクＬ１はそれぞれ点になる。したがって、可変長リンクＬ１の伸縮により、捻り軸Ｇ１に垂直な向きの力の成分、および捻り軸Ｇ１の回りに回転させるトルクが発生しない。捻り軸Ｇ２と可変長リンクＬ２とが同一平面上にあり平行でない場合は、図３０(b)に示すように、可変長リンクＬ２が捻り軸Ｇ２の方向を向く。そのため、可変長リンクＬ２の伸縮により、捻り軸Ｇ２に垂直な向きの力

の成分が発生するが、捻り軸Ｇ２の方向を向いているので、捻り軸Ｇ１の回りに回転させるトルクはゼロである。捻り軸Ｇ３と可変長リンクＬ３とがねじれの関係にある場合は、図３０(c)に示すように、可変長リンクＬ３の伸縮により、捻り軸Ｇ３の回りに三角形Ｕ３の面積に比例する回転トルクが発生する。

【００５７】

可変長リンクＬ３の一端Ｐ３と捻り軸Ｇ３との距離Ｋは決まっているので、回転トルクの大きさは、捻り軸Ｇ３および一端Ｐ３とで決まる平面（リンク基準面と呼ぶ）と可変長リンクＬ３の他端Ｑ３との距離Ｄにより決まることになる。距離Ｄと可変長リンクＬ３の長さ（Ｗで表す）の比（Ｄ／Ｗ）は、可変長リンクＬ３の長さが単位量だけ変化した場合に、距離Ｄが変化する量を表す。リンク基準面と可変長リンクＬ３とがなす角度（傾斜角度と呼ぶ）をθとすると、以下が成立する。

sinθ＝Ｄ／Ｗ

【００５８】

図３０(a)、(b)では、傾斜角度θ＝０となる。可変長リンクの伸縮により捻り軸の回りの必要な回転トルクを発生させるには、傾斜角度θが決められた角度δ0（例えば、３度程度）以上である必要がある。ここでは、可変長リンクが１本の場合で考えたが、可変長リンクが２本以上ある場合は、可変長リンクの傾斜角度の中の最大値がδ0以上であればよい。なお、リンク基準面は、可変長リンクごとに決まる平面である。具体的には、捻り軸を含む平面であり、かつ、捻り軸の方向が固定されている第１部材に設けられたその可変長リンクの第１部材側リンク取付部、または捻り軸の方向が固定されている第２部材に設けられたその可変長リンクの第２部材側リンク取付部を含む平面である。

【００５９】

傾斜角度θの場合の可変長リンクＬ３による回転トルクＴＡは、以下のようになる。

ＴＡ∝Ｋ*Ｗ*sinθ＝Ｋ*Ｄ＝２*三角形Ｕ３の面積

第２部材を捻り軸の回りに回転させる際に必要となる回転トルクは、第２部材の慣性モーメントも関係する。傾斜角度θに対する閾値δ0は、すべての３回転自由度接続機構で同じ値としてもよいし、３回転自由度接続機構ごとに決めてもよい。また、傾斜角度θを求める際に、可変長リンクの長さの変化量を単位量ではなく、可変長リンクの長さの変化可能範囲の幅を考慮した変化量としてもよい。

【００６０】

基準状態においては、可変長リンク１９Ｌは捻り軸５６と同一平面上にあり、可変長リンク１９Ｌとリンク基準面がなす傾斜角度θs1は０度である。可変長リンク２０Ｌおよび可変長リンク２１Ｌは、捻り軸５６とねじれの関係にある。可変長リンク２０Ｌおよび可変長リンク２１Ｌの傾斜角度θs2とθs3は、約４１度である。３本の可変長リンク１９Ｌ、２０Ｌ、２１Ｌが、リンク基準面となす傾斜角度の最大値θsmaxは、δ0以上である。したがって、可変長リンク２０Ｌ、２１Ｌの何れかが伸縮すると、捻り軸５６の回りの回転トルクを発生できる。

【００６１】

傾斜角度θs2とθs3が約４１度なので、胸部６を大きく傾けても、少なくともθs2とθs3のどちらかはδ0以上である。すなわち、胸腰関節部１６の可動範囲内の各状態で、３本の可変長リンク１９Ｌ、２０Ｌ、２１Ｌの何れか少なくとも１本が捻り軸５６とねじれの関係にある。さらに、捻り軸５６の方向が固定されている第２部材５に設けられた第２部材側リンク取付部Ｊ６、Ｊ７と捻り軸５６を含むリンク基準面と可変長リンク２０Ｌとなす傾斜角度は、δ0以上である。

【００６２】

図３１は、胸部５を回転させて前方に傾けた状態での胴体屈曲部Ｃ２での可変長リンクの配置を背骨部が延在する方向から見た図である。図３１では、胸部５（第２部材）を左に１５度捻って、左に１５度の方向に前に３０度だけ傾けている。捻り軸５６が第２部材に対して方向が固定なので、捻り軸５６を傾けると、捻り軸５６の方向から見た腰部６（第１部材）を傾ける方向に、傾ける角度に応じて腰部６（第１部材）が伸縮して見える。

図３１では、cos(30度)＝約0.87倍になる。捻り軸５６の回りに回転させているので、可変長リンク２０Ｌが長くなり、可変長リンク２１Ｌが短くなる。捻り軸５６の回りに回転させる以外の場合は、以下のようになる。捻り軸５６を前に傾ける場合は、可変長リンク２０Ｌ、２１Ｌの傾斜角度θs2、θs3がどちらも小さくなる。右に傾ける場合は、可変長リンク２０Ｌの傾斜角度θs2が大きくなり、可変長リンク２１Ｌの傾斜角度θs3が小さくなる。胴体屈曲部Ｃ２では、可動範囲の中でどのように傾けても、傾斜角度の最大値θsmaxは３０度程度以上である。なお、関節部の可動範囲が、可動範囲内の境界付近などで捻り軸の回りの回転が不要なように決められている場合は、可動範囲内の境界付近などでは傾斜角度の最大値θsmaxは決められた角度δ0以上でなくてもよい。

【００６３】

腰部６の構造の説明に戻る。下肢部接続フレーム６２は、略長方形の板材である。下肢部接続フレーム６２は、腰部主フレーム６１の下部の左右に前方が高くなるように固定される。下肢部接続フレーム６２の内側(体の中心に近い側)で垂直に突起６４が出ている。突起６４の先端部には外側の斜め上に向けて大腿部１０を腰部６に接続する股関節部２２が設けられる。股関節部２２は、腰部６側の球面を大腿部１０側の窪みが囲む球面軸受を有する。股関節部２２は、腰部６の一部である突起６４から外側斜め上に出た球面を有する球面部材と、球面部材の球面を３回転自由度で回転可能に保持する大腿部１０の端部に設けられた球面受部材とを有する。こうすることで、大腿部１０の可動範囲を大きくすることができる。

【００６４】

下肢部接続フレーム６２の前側で突起６５が出て、突起６５の先端部の前側には股部正面リンク取付部Ｊ１１が設けられる。股部正面リンク取付部Ｊ１１には、股関節部２２を回転させるための大腿部正面リンク２３Ｌ（図５７に図示）が取付けられる。突起６５は折れ曲がっており、股部正面リンク取付部Ｊ１１が設けられる部分の面は基準状態ではほぼ鉛直である。股部正面リンク取付部Ｊ１１では、突起６５に回転部材と回転部材により回転する円筒が設けられ、大腿部正面リンク２３Ｌの一端にヨークおよび軸部材が設けられる。股部正面リンク取付部Ｊ１１は、突起６５に設けられた円筒の中を大腿部正面リンク２３Ｌの一端に回転可能に設けられた軸部材が通る構造の２軸ジンバルである。

【００６５】

下肢部接続フレーム６２の外側の背面側の角付近で突起６６が出て、突起６６の先端部の外側には股部外側リンク取付部Ｊ１２が設けられる。股部外側リンク取付部Ｊ１２には、大腿部外側リンク２４Ｌが取付けられる。下肢部接続フレーム６２の内側の背面側の角付近で垂直に突起６７が出て、突起６７の先端部の内側には股部内側リンク取付部Ｊ１３が設けられる。股部内側リンク取付部Ｊ１３には、大腿部内側リンク２５Ｌが取付けられる。突起６７は折れ曲がっており、股部内側リンク取付部Ｊ１３は内側の斜め下に設けられる。股部外側リンク取付部Ｊ１２と股部内側リンク取付部Ｊ１３は、股部正面リンク取付部Ｊ１１と同様な構造の２軸ジンバルである。

【００６６】

図５、図１０、図１２、図１３、図３２および図３３を参照して、頭部２の構造について説明する。図３２は、頭部２を拡大した側面図である。図３３は、頭部２を拡大した斜視図である。肩部フレーム５１の上面の中央から首部中心棒２６が上方に伸びる。頭部２は、首部中心棒２６の先端に設けられた首関節部２７に接続している。首関節部２７には、首部中心棒２６の先端に球面が設けられた球面軸受が用いられる。首関節部２７は、頭部２と胸部５を３回転自由度で接続する。頭部２は、正方形の４つの角を切りとった八角形の板状の頭部基準板２Ａを有する。頭部基準板２Ａに目、耳、口などの機能を実現する装置が取付けられる。

【００６７】

頭部２は、３本の首部背面アクチュエータ２８、首部右側アクチュエータ２９、首部左側アクチュエータ３０により首関節部２７の回りを３回転自由度で回転できる。つまり、前後左右方向にそれぞれ例えば２０度程度、頭部２を傾けることができる。さらに、首部

中心棒２６の回りに両方向に例えば６０度程度、頭部２を回すことができる。
【００６８】
　肩部フレーム５１の上面には、首下部フレーム５８が設けられる。首下部フレーム５８には、頭部２を動かす３本のアクチュエータが有する可変長リンクの一端が取付けられる。首下部フレーム５８は、水平面上で１２０度の間隔で中心から伸びる３枚の板状の部分を有する。３枚の板状の部分の先端は９０度曲がって、曲がった部分に首部背面リンク取付部Ｊ１４、首部右側リンク取付部Ｊ１５、首部右側リンク取付部Ｊ１６が設けられる。首部背面リンク取付部Ｊ１４は、肩部フレーム５１の背側中央に位置する。首部右側リンク取付部Ｊ１５は、肩部フレーム５１の前側中央の少し右に位置する。首部左側リンク取付部Ｊ１６は、肩部フレーム５１の前側中央の少し左に位置する。
【００６９】
　首部背面リンク取付部Ｊ１４は、首下部フレーム５８から背側に出る回転部材により回転するヨークに、首部背面リンク２８Ｌの他端に設けられた軸部材が回転可能に保持される２軸ジンバルである。右側リンク取付部Ｊ１５、首部左側リンク取付部Ｊ１６も同様な構造の２軸ジンバルである。
【００７０】
　頭部２の下部の背側中央には、頭部背面リンク取付部Ｊ１７が設けられる。頭部２の下部の右側には、頭部右側リンク取付部Ｊ１８が設けられる。頭部２の下部の左側には、頭部左側リンク取付部Ｊ１９が設けられる。
【００７１】
　首部背面リンク２８Ｌ、首部右側リンク２９Ｌ、首部左側リンク３０Ｌのそれぞれは、その一端が頭部背面リンク取付部Ｊ１７、頭部右側リンク取付部Ｊ１８、頭部左側リンク取付部Ｊ１９のそれぞれに２回転自由度で取付けられる。他端は、首部背面リンク取付部Ｊ１４、首部右側リンク取付部Ｊ１５、首部右側リンク取付部Ｊ１６のそれぞれに２回転自由度で取付けられる。
【００７２】
　首部背面リンク２８Ｌは、リンク取付具２８Ｎを介して頭部背面リンク取付部Ｊ１７に取付けられる。首部背面リンク２８Ｌのねじ棒および円筒の長さは、頭部背面リンク取付部Ｊ１７と首部背面リンク取付部Ｊ１４と間の距離よりも短い。リンク取付具２８Ｎは、側面から見て首部背面リンク２８Ｌの円筒とモータ２８Ｍの間からモータ２８Ｍに沿って伸びＬ字状に曲がる部材である。Ｌ字状のリンク取付具２８Ｎの先端は、ねじ棒が延長された位置で頭部背面リンク取付部１７に取付けられる。モータ２８Ｍの下端は、リンク取付具２８Ｎの取付位置よりも下側に存在する。首部右側リンク２９Ｌ、首部左側リンク３０Ｌも同様な構造である。こうすることで、アクチュエータが有する可変長リンクの長さよりも長いモータを使用できる。
【００７３】
　首部Ｃ３は、第２部材である頭部２を第１部材である胸部５に３回転自由度で回転可能に接続する３回転自由度接続機構である。首部Ｃ３は、関節部である首関節部２７、３本の可変長リンクである首部背面リンク２８Ｌ、首部右側リンク２９Ｌおよび首部左側リンク３０Ｌ、３個の第１部材側リンク取付部である首部背面リンク取付部Ｊ１４、首部右側リンク取付部Ｊ１５および首部左側リンク取付部Ｊ１６、３個の第２部材側リンク取付部である頭部背面リンク取付部Ｊ１７、頭部右側リンク取付部Ｊ１８および頭部左側リンク取付部Ｊ１９を有して構成される。
【００７４】
　捻り軸である首部中心棒２６は、胸部５に対して方向が固定されている。首部中心棒２６は、頭部２に対する角度が変更可能である。首部背面リンク取付部Ｊ１４、首部右側リンク取付部Ｊ１５および首部左側リンク取付部Ｊ１６では、首部中心棒２６および首関節部２７に対する相対的な位置関係は、固定されている。頭部背面リンク取付部Ｊ１７、頭部右側リンク取付部Ｊ１８および頭部左側リンク取付部Ｊ１９でも、首関節部２７に対する相対的な位置関係は、固定されている。

【００７５】
　首部Ｃ３での可変長リンクの配置を説明する。図３４は、首部Ｃ３での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。首部Ｃ３は、３個の第２部材側リンク取付部Ｊ１７、Ｊ１８、Ｊ１９と３個の第１部材側リンク取付部Ｊ１４、Ｊ１５、Ｊ１６とをそれぞれ結ぶ３本の可変長リンク２８Ｌ、２９Ｌ、３０Ｌを有する。そのため、３本の可変長リンク２８Ｌ、２９Ｌ、３０Ｌの長さを変更することで、頭部２の胸部５に対する接続角度を３回転自由度で変更できる。首関節部２７のＸ軸回りの回転角度をαp、Ｙ軸回りの回転角度をβp、Ｚ軸回りの回転角度をγpとする。
【００７６】
　首関節部２７は、第２部材側リンク取付部Ｊ１８、Ｊ１９を結ぶ線分上にある。第２部材側三角形Ｔ２は、二等辺三角形であり、首関節部２７は底辺の中点にある。そのため、第２部材２を前後方向に傾ける場合には、可変長リンク２８Ｌの長さを変えるだけでよい。第２部材２を左右方向に傾ける場合には、可変長リンク２９Ｌ、３０Ｌの一方を長くし、もう一方を短くすればよい。
【００７７】
　他の関節部で、捻り軸との角度が変更可能な第１部材に設けられた２個の第１部材側リンク取付部を結ぶ線分上に関節部が存在するように第１部材側リンク取付部を配置する場合も、同様な効果がある。あるいは、捻り軸との角度が変更可能な第２部材に設けられた２個の第２部材側リンク取付部を結ぶ線分上に関節部が存在するように第２部材側リンク取付部を配置する場合も、同様な効果がある。
【００７８】
　図３５は、基準状態で首部Ｃ３での可変長リンクの配置を首部中心棒２６が延在する方向から見た図である。基準状態で、可変長リンク２９Ｌ、３０Ｌと捻り軸２６とはねじれの関係にある。可変長リンク２８Ｌの第１部材側リンク取付部Ｊ１４と捻り軸２６とを含むリンク基準面と可変長リンク２８Ｌとがなす傾斜角度θp1は、０度である。可変長リンク２９Ｌ、３０Ｌの傾斜角度θp2、θp3は、約１６度である。３本の可変長リンク２８Ｌ、２９Ｌ、３０Ｌのそれぞれが捻り軸２６となす角度の最大値θpmaxは約１６度であり、δ0（例えば、３度程度）以上である。可変長リンク２８Ｌ、２９Ｌ、３０Ｌの長さを変化させた場合に、捻り軸２６の回りに回転するトルクが発生し、捻り軸２６の回りを回転させることができる。
【００７９】
　頭部２を傾けた場合でも、３個の傾斜角角度の最大値θpmaxはδ0以上である。図３６は、頭部２を回転させて前方に傾けた状態での首部Ｃ３での可変長リンクの配置を首部中心棒２６が延在する方向から見た図である。図３６では、頭部２を左に１５度捻って、左に１５度の方向に３０度前に傾けた状態での可変長リンクの配置を示す。可変長リンク２８Ｌ、３０Ｌの傾斜角度θp1、θp3が大きくなり、可変長リンク２９Ｌの傾斜角度θp2が小さくなる。捻り軸２６の回りに回転させない場合は、第２部材（頭部）２を前後に傾けても、可変長リンク２９Ｌ、３０Ｌの傾斜角度θp2、θp3は、約１６度で変化しない。第２部材２を左右に傾ける場合は、可変長リンク２９Ｌ、３０Ｌの傾斜角度θp2、θp3の一方が大きくなり、もう一方が小さくなる。したがって、可変長リンク２８Ｌ、２９Ｌ、３０Ｌのそれぞれの長さが取りうる範囲内で変化する各場合で、どれか１本の可変長リンクは、捻り軸２６に対してねじれの関係にあり、３本のリンクの傾斜角度の中での最大値θpmaxは、約１６度以上である。
【００８０】
　３個の第１部材側リンク取付部で決まる平面、または、３個の第２部材側リンク取付部で決まる平面を、リンク取付平面と呼ぶ。捻り軸である首中心棒２６とリンク取付平面の交点を、捻り中心と呼ぶ。第１部材である胸部５側に存在する第１部材側リンク取付部Ｊ１４、Ｊ１５、Ｊ１６は、リンク取付平面の上で、捻り中心から等距離にある円周上に中心角が１２０度となる３点に配置される。第２部材である頭部２側の第２部材側リンク取付部Ｊ１７、Ｊ１８、Ｊ１９は、リンク取付平面の上で、首関節部２７に対して等距離で

、互いに９０度、９０度、１８０度の中心角を有する位置に配置される。そのため、首関節部２７がどのように回転しても、可変長リンク２８Ｌ、２９Ｌ、３０Ｌが３本とも、捻り軸２６と同一平面上になることはない。すなわち、可変長リンク２８Ｌ、２９Ｌ、３０Ｌの少なくとも１本は、捻り軸２６とねじれの関係にある。

【００８１】

他の３回転自由度接続機構でも、第１部材側のリンク取付平面での捻り中心と３個の第１部材側リンク取付部とがなす３個の中心角と、第２部材側のリンク取付平面での捻り中心と３個の第２部材側リンク取付部とがなす３個の中心角とを異ならせている。そのため、３本の可変長リンクを含む平面が捻り軸も含むことが、３本の可変長リンクすべてで同時に発生することはない。１本の可変長リンク（リンクＡと呼ぶ）が捻り軸と同一平面上に配置される状態で、リンクＡと捻り軸が同一平面上であることを維持するように、その平面に垂直な回転軸の回りに関節部を可動範囲内で回転させる。この可動範囲内の関節部の回転では、以下のどちらかの状態になる。(A)残りの２本の可変長リンクの少なくとも一本は、捻り軸と同一平面上に配置されない。(B)残りの２本の可変長リンクは、それぞれ異なる回転角度で捻り軸と同一平面上に配置される。そのため、関節部がどのように回転しても、可変長リンクを含む平面が捻り軸も含むことが、３本の可変長リンクすべてで同時に発生することはない。すなわち、３本の可変長リンクの少なくとも１本は、捻り軸とねじれの関係にある。

【００８２】

首部中心棒２６（捻り軸）の回りに回転する際に、首部右側リンク２９Ｌおよび首部左側リンク３０Ｌの一方は長くなり、もう一方は短くなる。そのため、捻り軸の回りに回転する際に、伸びるリンクにより押される力と、短くなるリンクにより引かれる力の両方が発生して、捻り軸の回りに回転しやすくなる。

【００８３】

図１０から図１６、図３７を参照して肩部Ｃ４の構造を説明する。図３７は、人型ロボット１００の上半身の斜視図である。上腕部７は、肩関節部１３により胸部５に２回転自由度で接続する。上腕部７および前腕部８は真っすぐな棒状である。上腕部７の肩関節部１３から決められた距離の位置に、上腕部駆動主リンク１４Ｌが２回転自由度で取付けられる上腕部主リンク取付部Ｊ２０が設けられる。上腕部主リンク取付部Ｊ２０は、上腕部７が延在する方向の回りを回転する回転部材を、上腕部７となす角度を変更可能に上腕部駆動主リンク１４Ｌの一端に設けられた半円状のヨークが挟む構造の２軸ジンバルである。回転部材に垂直な同一直線上に存在する２個の円柱状の突起が両側に出ており、その突起を上腕部駆動主リンク１４Ｌ側のヨークが回転可能に挟む構造である。

【００８４】

上腕部駆動主リンク１４Ｌの上腕部主リンク取付部Ｊ２０から決められた距離の位置に、上腕部駆動補助リンク１５Ｌの一端が１回転自由度で取付けられる主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１が設けられる。上腕部駆動主リンク１４Ｌおよび上腕部駆動補助リンク１５Ｌの中心線は同一平面上にある。この平面を上腕駆動リンク面と呼ぶ。主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１では、上腕駆動リンク面上での角度が変更できる１回転自由度で回転可能に、上腕部駆動補助リンク１５Ｌが上腕部駆動主リンク１４Ｌに取付けられる。主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１は、上腕部駆動主リンク１４Ｌに設けられた上腕駆動リンク面に垂直な突起（軸部材）を、上腕部駆動補助リンク１５Ｌの一端に設けられたヨークが挟む構造である。

【００８５】

胸側主リンク取付部Ｊ１、胸側補助リンク取付部Ｊ２、主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１により決まる平面を上腕駆動リンク面と呼ぶ。上腕部駆動主リンク１４Ｌおよび上腕部駆動補助リンク１５Ｌの長さが変化すると、上腕駆動リンク面は胸側主リンク取付部Ｊ１と胸側補助リンク取付部Ｊ２を通る直線を回転軸として回転する。上腕部駆動主リンク１４Ｌと上腕部駆動補助リンク１５Ｌとは、上腕駆動リンク面に存在する。上腕部駆動主リンク１４Ｌと上腕部駆動補助リンク１５Ｌとの相対的な位置関係は、主リンク側補助リ

ンク取付部Ｊ２１で上腕部駆動主リンク１４Ｌと上腕部駆動補助リンク１５Ｌとがなす角度が変化するだけである。したがって、主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１は上腕駆動リンク面内での回転だけができる１回転自由度でよい。主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１は、２回転自由度を有してもよい。

【００８６】

図３８は、左の肩関節部１３での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。肩関節部１３、胸側主リンク取付部Ｊ１および胸側補助リンク取付部Ｊ２は、胸部５に固定されており、互いの相対的な位置関係は固定である。上腕部主リンク取付部Ｊ２０は、肩関節部１３からの距離が決まっている。主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１は、上腕部駆動主リンク１４Ｌ上で、上腕部主リンク取付部Ｊ２０から決められた距離の位置に存在する。上腕部主リンク取付部Ｊ２０の位置が決まると、肩関節部１３から上腕部主リンク取付部Ｊ２０へ向かう方向に上腕部７は向く。上腕部主リンク取付部Ｊ２０の位置を変更することで、胸部５に対して上腕部７を動かすことができる。上腕部駆動主リンク１４Ｌおよび上腕部駆動補助リンク１５Ｌは、トラス構造を構成する。

【００８７】

上腕部駆動主リンク１４Ｌおよび上腕部駆動補助リンク１５Ｌの長さが決まると、肩関節部１３、胸側主リンク取付部Ｊ１および胸側補助リンク取付部Ｊ２のそれぞれからの上腕部主リンク取付部Ｊ２０までの距離が決まる。３点からの上腕部主リンク取付部Ｊ２０までの距離が決まるので、上腕部主リンク取付部Ｊ２０の位置が決まる。

【００８８】

上腕部駆動主リンク１４Ｌの長さを長くすることで上腕部７が上がり、短くすることで下がる。上腕部駆動補助リンク１５Ｌを長くすることで上腕部７が前に出て、短くすることで背側に移動する。上腕部７は、肩関節部１３を回転の中心にして決められた可動範囲内で自由に動くことができる。例えば、上下および前後方向に関して、下向きを０度とし、前向きを９０度として、－３０度から９５度程度まで、上腕部７を回転できる。また、左右方向には、外側に９５度程度、正面を越えて内側に５度（－５度）程度、上腕部７を回転できる。

【００８９】

肩関節部１３で使用するタイプの２軸ジンバルでは、２軸ジンバルの回転部材の回転軸Ｒx1の方向に上腕部７が向いた場合（特異点と呼ぶ）は、２軸ジンバルのヨークに直交する方向には上腕部７を傾けることができない。回転軸Ｒx1の方向を、水平面内で人型ロボット１００の左右方向（Ｘ軸方向）に対して後側にξ１の角度をなす方向としている。そうすることで、特異点が肩関節部１３よりも後側に存在することになる。そのため、上腕部７を左右方向よりも前側の可動範囲内で自由に動かすことができる。従来の人型ロボットでは、肩関節部の２軸ジンバルの特異点を避けて動くために不自然な動きをする場合がある。人型ロボット１００では、可動範囲内では特異点を避けるための不自然な動きをしなくてもよい。

【００９０】

肩関節部１３は、胸部５の上部に存在して左右方向に延びる肩部フレーム５１の端部に存在する。肩関節部１３は、胸部５の中心から遠い側でかつ後方側に延びた回転軸Ｒx1の回りに回転可能である。さらに、回転軸Ｒx1と上腕部７とがなす角度を変更する回転が可能である。肩関節部１３は、上腕部７を２回転自由度で回転可能に胸部５に接続する。胸側主リンク取付部Ｊ１は、肩関節部１３よりも下側かつ前側の位置で胸部５に設けられる。胸側補助リンク取付部Ｊ２は、肩関節部１３よりも下側かつ後側の位置で胸部５に設けられる。なお、胸側主リンク取付部Ｊ１を肩関節部１３よりも後側に設け、胸側補助リンク取付部Ｊ２を前側に設けてもよい。胸側主リンク取付部Ｊ１および胸側補助リンク取付部Ｊ２を、前後方向に肩関節部１３を挟む位置に設ければよい。

【００９１】

図１１から図１５、図３９から図４４を参照して肘部Ｃ５の構造を説明する。図３９と図４０は、左の上肢部３の正面図および側面図である。図４１と図４２は、左の上肢部３

の肘関節部３１までの部分を拡大した正面図および側面図である。図４３は、左右の肘関節部３１を９０度曲げた状態での人型ロボット１００の正面図である。図４４は、左右の肘関節部３１を９０度曲げた状態での人型ロボット１００の上から見た平面図である。図４３と図４４では、体幹部１と左右の上肢部３だけを示す。図４３と図４４では、右の上腕部７が体幹部１から離れるように移動し、左の上腕部７が体幹部１に近づくように移動し、左右の肘関節部３１を９０度曲げている。図４４から分るように、左右の前腕部８は、体幹部１の正面方向に対してそれぞれ外側に開いた方向を向いている。つまり、肘関節部３１の主に曲がる方向は、体幹部１の正面方向（Ｙ軸）と角度ξ２をなす方向である。

【００９２】

上肢部３の正面方向は、肘関節部３１が主に曲がる方向だけに９０度曲げたときの前腕部８が向く方向である。人型ロボット１００が直立して上肢部３を鉛直下向きにした時に、上肢部３の正面方向は、人型ロボット１００の正面方向よりもξ２だけ外側を向いている。そのため、人型ロボット１００の正面図である図２では、上肢部３を斜めから見ることになる。上肢部３の説明では、上肢部３の正面方向をＹ軸方向とし、上肢部３の正面方向と直交する方向をＸ軸方向とする。

【００９３】

前腕部８は、上腕部７に肘関節部３１により２回転自由度で接続される。肘関節部３１は、上腕部７と同じ方向の回転軸Ｒz2を有し、回転軸Ｒz2により回転する前腕部８の上腕部７に対する角度も変更できる２軸ジンバルである。肘関節部３１では、回転部材は上腕部７に設けられ、ヨークは前腕部８に設けられる。上腕部７および前腕部８には、２本の長さが決まったリンクである肘部駆動外側リンク３２および肘部駆動内側リンク３３が取付けられる。肘部駆動外側リンク３２および肘部駆動内側リンク３３は、２本の肘駆動リンクである。肘部駆動外側リンク３２および肘部駆動内側リンク３３は、リンクのねじれを可能とする１回転自由度を有する。

【００９４】

肘部駆動外側リンク３２および肘部駆動内側リンク３３の上腕部７への取付位置は、移動可能である。そのために、上腕部７の両側に、２本のリニアアクチュエータである上腕部外側アクチュエータ３４および上腕部内側アクチュエータ３５が、上腕部７に平行に設けられる。図１１などに示すように、上腕部７の肩関節部１３の近くには、上腕部外側アクチュエータ３４のモータ３４Ｍと上腕部内側アクチュエータ３５のモータ３５Ｍを保持するアクチュエータ保持具７Ａが設けられる。

【００９５】

肘部駆動外側リンク３２の上腕部７への取付位置である上腕部外側リンク取付部Ｊ２２は、上腕部外側アクチュエータ３４により移動する。肘部駆動内側リンク３３の上腕部７への取付位置である上腕部内側リンク取付部Ｊ２３は、上腕部内側アクチュエータ３５により移動する。上腕部外側リンク取付部Ｊ２２および上腕部内側リンク取付部Ｊ２３には、肘部駆動外側リンク３２および肘部駆動内側リンク３３がそれぞれ２回転自由で取付けられる。肘部駆動外側リンク３２および肘部駆動内側リンク３３は、トラス構造を構成する。

【００９６】

図４１を参照して、上腕部外側アクチュエータ３４の構造を説明する。上腕部外側アクチュエータ３４が有するモータ３４Ｍは、肩関節部１３に近い側でタイミングベルトにより動力をねじ棒３４Ａに伝えて、ねじ棒３４Ａを回転させる。ねじ棒３４Ａの雄ねじとかみ合う雌ねじが設けられた貫通穴を有するナット３４Ｂは、ねじ棒３４Ａの長さ方向に移動可能である。ナット３４Ｂをねじ棒３４Ａの回りに回転させない機構が設けられている。そのため、ねじ棒３４Ａが回転すると、ナット３４Ｂがねじ棒３４Ａに沿って移動する。上腕部外側リンク取付部Ｊ２２はナット３４Ｂに取付けられており、ナット３４Ｂが移動すると上腕部外側リンク取付部Ｊ２２も移動する。ナット３４Ｂは、上腕部外側アクチュエータ３４により移動する移動部材である。

【００９７】

ナット３４Ｂをねじ棒３４Ａの回りに回転させない機構は、ねじ棒３４Ａと平行に設けられたレール３４Ｃと、レール３４Ｃを挟みナット３４Ｂに接続した把持部３４Ｄを有する。把持部３４Ｄは、レール３４Ｃと間の摩擦は小さくなるように設けられる。把持部３４Ｄがレール３４Ｃを挟んでいるので、把持部３４Ｄおよびナット３４Ｂはねじ棒３４Ａの回りを回転しない。他の機構により、ナット３４Ｂをねじ棒３４Ａの回りに回転しないようにしてもよい。

【００９８】

上腕部内側アクチュエータ３５および上腕部内側リンク取付部Ｊ２３も、同様な構造である。上腕部内側アクチュエータ３５は、モータ３５Ｍ、ねじ棒３５Ａ、ナット３５Ｂ、レール３５Ｃおよび把持部３５Ｄを有する。上腕部内側リンク取付部Ｊ２３はナット３４５に取付けられている。ナット３５Ｂは、上腕部内側アクチュエータ３５により移動する移動部材である。

【００９９】

上腕部外側リンク取付部Ｊ２２は、次のような構造を有する２軸ジンバルである。上腕部外側アクチュエータ３４により移動する移動部材であるナット３４Ｂに回転部材、回転部材により回転するヨーク、およびヨークが回転可能に挟む軸部材が設けられる。肘部駆動外側リンク３２の端部には、軸部材が入る貫通穴が設けられる。上腕部内側リンク取付部Ｊ２３も、同様な構造の２軸ジンバルである。

【０１００】

前腕部８の肘関節部３１から決められた距離の位置に、肘部駆動内側リンク３３が２回転自由度で取付けられる肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４が設けられる。肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４は、上腕部外側リンク取付部Ｊ２２と同様な構造の２軸ジンバルである。肘部駆動内側リンク３３の肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４から決められた距離の位置に、肘部駆動外側リンク３２が２回転自由度で取付けられる肘部駆動外側リンク取付部Ｊ２５が設けられる。肘部駆動外側リンク取付部Ｊ２５は、肘部駆動内側リンク３３に設けられた突起を挟むヨークが肘部駆動外側リンク３２の一端から伸びる構造である。肘部駆動外側リンク取付部Ｊ２５のヨークは、肘部駆動外側リンク３２と肘部駆動内側リンク３３とがなす角度が小さい場合でも突起を挟めるように、十分な長さを持たせる。肘部駆動内側リンク３３の突起が設けられた部分は、肘部駆動内側リンク３３の回りを回転可能である。肘部駆動外側リンク３２の一端から伸びるヨークは、肘部駆動内側リンク３３とヨークとがなす角度が変更可能なように突起を挟む。

【０１０１】

上腕部外側リンク取付部Ｊ２２および肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４のどちらか少なくとも一方を、３回転自由度を有するようにしてもよい。上腕部内側リンク取付部Ｊ２３および肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４のどちらか少なくとも一方を、３回転自由度を有するようにしてもよい。

【０１０２】

図４５は、左の肘部Ｃ５でのリンク配置を説明する斜視図である。肘関節部３１、上腕部外側アクチュエータ３４および上腕部内側アクチュエータ３５は、上腕部７に固定されている。上腕部外側リンク取付部Ｊ２２は、上腕部外側アクチュエータ３４により上腕部７に沿って移動する。上腕部内側リンク取付部Ｊ２３は、上腕部内側アクチュエータ３５に沿って移動する。前腕部８に設けられる肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４は、肘関節部３１から決められた距離K_{1u}の位置に存在する。肘部駆動内側リンク３３に設けられる肘部駆動外側リンク取付部Ｊ２５は、肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４（厳密には、その回転中心）から決められた距離K_{2u}の位置に存在する。前腕部８は、肘関節部３１（厳密には、その回転中心）から距離K_{1u}の位置にある肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４の方向に向く。肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４の位置を変更することで、上腕部７に対して前腕部８を動かすことができる。

【０１０３】

肘部駆動内側リンク３３および肘部駆動外側リンク３２は、長さが決まっている。上腕

部外側リンク取付部Ｊ２２および上腕部内側リンク取付部Ｊ２３が上腕部７に沿って移動することで、肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４の位置が変化する。
【０１０４】
　肘部Ｃ５は、肘関節部３１、肘部駆動内側リンク３３、肘部駆動外側リンク３２、前腕側主リンク取付部である肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４、肘部駆動内側リンク３３に設けられた主リンク側補助リンク取付部である肘部駆動外側リンク取付部Ｊ２５、２個の上腕側リンク取付部である上腕部内側リンク取付部Ｊ２３および上腕部外側リンク取付部Ｊ２２、２本のリニアアクチュエータである上腕部外側アクチュエータ３４および上腕部内側アクチュエータ３５を有して構成される。
【０１０５】
　上腕部外側リンク取付部Ｊ２２および上腕部内側リンク取付部Ｊ２３が共に肩関節部１３に近くなるように移動すると、肘関節部３１が曲がって前腕部８が上腕部７に近づく。肩関節部１３から遠くなるように移動すると、肘関節部３１が伸びて前腕部８が上腕部７から離れる。上腕部外側リンク取付部Ｊ２２を肩関節部１３に近くなるように移動させ、上腕部内側リンク取付部Ｊ２３は遠くなるように移動させると、前腕部８が外側を向く。上腕部内側リンク取付部Ｊ２３を肩関節部１３に近くなるように移動させ、上腕部外側リンク取付部Ｊ２２は遠くなるように移動させると、前腕部８が内側を向く。
【０１０６】
　肘関節部３１は、上腕部７と前腕部８が１直線になる状態から、上腕部７と前腕部８との間の角度が例えば７０度程度になるまで、上肢部３の正面方向と上腕部７とを含む平面内（肘主駆動面）で角度を変化させることができる。上腕部７に垂直な平面内（肘副駆動面）では、肘関節部３１を直角に曲げた状態で、内側および外側に例えば７０度程度は回転できる。肘主駆動面での肘関節部３１の回転角度が直角（９０度）でない場合は、肘副駆動面での回転角度は直角の場合よりも小さくなる。肘関節部３１の回転角度が１８０度の状態すなわち肘関節部３１を伸ばした状態では、肘副駆動面で回転できない。
【０１０７】
　肘関節部３１を駆動する２本のリンクを固定長にして上腕側でのリンク取付部の位置を移動させる方式とすることで、肘関節部３１を駆動する機構をコンパクトにできる。肘関節部を２本の可変長リンクで駆動する場合には、肘関節部を肘副駆動面で回転させるために、２本のリンクが前腕部の取付位置でなす角度を決められた角度以上にする必要がある。そのためには、２本の可変長リンクの取付位置の間隔は、この実施の形態で使用する２本のリニアアクチュエータの間隔よりも広くする必要がある。
【０１０８】
　肘部駆動内側リンク３３は、長さが決まった肘部駆動主リンクである。肘部駆動外側リンク３２は、長さが決まった肘部駆動補助リンクである。肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４は、肘部駆動内側リンク３３一端が少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられる前腕側主リンク取付部である。肘部駆動外側リンク取付部Ｊ２５は、肘部駆動外側リンク３２の一端が少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられる主リンク側補助リンク取付部である。上腕部内側リンク取付部Ｊ２３および上腕部外側リンク取付部Ｊ２２は、肘部駆動内側リンク３３および肘部駆動外側リンク３２の他端がそれぞれ少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられ、上腕部７に沿って移動可能に上腕部７に設けられた２個の上腕側リンク取付部である。
【０１０９】
　肘部駆動外側リンク３２の前腕部８側の一端を、肘部駆動内側リンク３３ではなく前腕部８に取付けるようにしてもよい。その場合には、２本の肘部駆動リンクである肘部駆動外側リンク３２および肘部駆動内側リンク３３の一端がそれぞれ少なくとも２回転自由度を有して回転可能に取付けられる２個の前腕側リンク取付部が前腕部８に設けられることになる。
【０１１０】
　上腕部外側アクチュエータ３４が有するナット３４Ｂは、肘部駆動外側リンク３２を移

動させる移動部材である。上腕部内側アクチュエータ３５が有するナット３５Ｂは、肘部駆動内側リンク３３を移動させる移動部材である。ねじ棒３４Ａおよびねじ棒３５Ａは、ナット３４Ｂおよびナット３５Ｂをそれぞれ上腕部７に沿って移動させるガイド部である。モータ３４Ｍは、ねじ棒３４Ａに対するナット３４Ｂの位置を変更する力を発生させる動力源である。モータ３５Ｍは、ねじ棒３５Ａに対するナット３５Ｂの位置を変更する力を発生させる動力源である。上腕部外側アクチュエータ３４は、ナット３４Ｂ、ねじ棒３４Ａおよびモータ３４Ｍを有するリニアアクチュエータである。上腕部内側アクチュエータ３５は、ナット３５Ｂ、ねじ棒３５Ａおよびモータ３５Ｍを有するリニアアクチュエータである。

【０１１１】

図４６から図４９を参照して、手首部Ｃ６の構造を説明する。図４６、図４７、図４８、図４９は、骨格構造での左の肘関節部３１から先の部分を拡大した斜視図、正面図、左側面図、裏面図である。

【０１１２】

人間の手に似た手部９は、前腕部８に手首関節部３６により３回転自由度で接続される。手首関節部３６には、棒状の前腕部８の一端に設けられた球面を回転可能に保持する球面軸受が用いられる。球面を受ける部材は手首板部９１に設けられる。手部９は、手首関節部３６の回りを３回転自由度で回転できる。３本のアクチュエータすなわち前腕部正面アクチュエータ３７、前腕部外側アクチュエータ３８、前腕部内側アクチュエータ３９の長さが変化すると、手部９と前腕部８との間の角度が変化する。手部９を前腕部８に対して、例えば、手の平の方向（正面方向）に２０度程度、手の甲の方向（裏面方向）に２０度程度、前腕部８の方向および正面から裏面に向かう方向に垂直な方向の両側にそれぞれ２０度程度、傾けることができる。前腕部８の回りに両方向に７０度程度、手部９を回転できる。

【０１１３】

手首部Ｃ６の正面方向および裏面方向の可動範囲の角度が小さいが、肘部Ｃ５と合わせて９０度、曲げることができる。手の平を壁などにあてて押しつける際は、例えば、手首部Ｃ６で手の甲側に２０度曲げて、残りは、肘部Ｃ５を７０度程度曲げて、結果的に体の上下軸と平行な手の平の面を作り出し、胸面と平行に手の平を押し出す動作となる。

【０１１４】

前腕部正面リンク３７Ｌ、前腕部外側リンク３８Ｌおよび前腕部内側リンク３９Ｌの一端を前腕部８に取付けるために、前腕部８の手首関節部３６から決められた距離の位置に前腕部正面リンク取付部Ｊ２６、前腕部外側リンク取付部Ｊ２７および前腕部内側リンク取付部Ｊ２８が設けられる。前腕部正面リンク取付部Ｊ２６は、前腕部８の正面に設けられる。前腕部外側リンク取付部Ｊ２７は、前腕部８に垂直な平面で前腕部正面リンク取付部Ｊ２６に対して９０度の角度をなす位置に設けられる。前腕部内側リンク取付部Ｊ２８は、前腕部外側リンク取付部Ｊ２７との間の角度が１８０度になる位置に設けられる。前腕部外側リンク取付部Ｊ２７と前腕部内側リンク取付部Ｊ２８を結ぶ線分の中点が、前腕部８の断面の中心と一致する。

【０１１５】

手部９は、手首板部９１、板状の掌板部９２、掌板部９２を手首板部９１に垂直に接続する手部取付部９８、４本の普通指部である第１指部９３、第２指部９４、第３指部９５、第４指部９６、および対向可能指部９７を有する。手首板部９１は、長い辺と短い辺が交互に並ぶ６角形の板状である。４本の普通指部は、掌板部９２の手首板部９１と反対側に接続される。対向可能指部９７は、４本の普通指部とは異なる方向で掌板部９２に４接続し、普通指部と対向する位置に移動できる。手首板部９１は、手首関節部３６を介して前腕部８と接続する。４本の普通指部は、ほぼ同じ方向を向いて並ぶ。

【０１１６】

手部９は、人間の手に似ている。対向可能指部９７は親指に相当し、第１指部９３、第２指部９４、第３指部９５、第４指部９６はそれぞれ、人差指、中指、薬指、小指に相当

する。
【０１１７】
　掌板部９２において、指部が曲がる側に存在する面を手の平側とよび、その反対側の面を手の甲側と呼ぶ。手部では、手の平側を正面とし、手の甲側を裏面とする。掌板部９２と平行な平面において、普通指部が延びる方向を指先方向と呼ぶ。指先方向は、手首から指先に向かう方向である。指先方向と直交する方向を手幅方向と呼ぶ。
【０１１８】
　前腕部正面リンク取付部Ｊ２６は、前腕部８の正面側に出る回転部材により回転するヨークに、前腕部正面リンク３７Ｌの一端に設けられた軸部材が回転可能に保持される２軸ジンバルである。前腕部外側リンク取付部Ｊ２７、前腕部内側リンク取付部Ｊ２８も同様な構造の２軸ジンバルである。
【０１１９】
　前腕部正面リンク３７Ｌでは、手部９側でモータ３７Ｍが発生する力がタイミングベルトによりナット３７Ｂに伝えられる構造である。前腕部正面リンク３７Ｌは、可変長リンクの円筒とモータの間からＬ字状に伸びるリンク取付具３７Ｎを介して前腕部正面リンク取付部Ｊ２６に取付けられる。モータの一端は、片側の取付位置よりも肘関節部３１に近い位置に存在する。前腕部外側リンク３８Ｌ、前腕部内側リンク３９Ｌも同様な構造である。
【０１２０】
　手首板部９１が前腕部８に垂直であり対向可能指部９７が上肢部３の正面方向に存在する状態が、手部９の基準状態である。手首板部９１に前腕部正面リンク３７Ｌ、前腕部外側リンク３８Ｌおよび前腕部内側リンク３９Ｌのもう一端を取付けるために、手首板部９１の前腕部８側の面に手部側正面リンク取付部Ｊ２９、手部側外側リンク取付部Ｊ３０および手部側内側リンク取付部Ｊ３１が設けられる。
【０１２１】
　手部側正面リンク取付部Ｊ２９、手部側外側リンク取付部Ｊ３０、手部側内側リンク取付部Ｊ３１および手首関節部３６は、同一平面上に存在する。手部側正面リンク取付部Ｊ２９、手部側外側リンク取付部Ｊ３０および手部側内側リンク取付部Ｊ３１は、正三角形を構成する位置に配置される。手首関節部３６、その正三角形の重心に位置する。そのため、手首関節部３６は、手部側外側リンク取付部Ｊ３０および手部側内側リンク取付部Ｊ３１を結ぶ線分の二等分線上に存在する。手部側正面リンク取付部Ｊ２９は、前腕部８と前腕部正面リンク取付部Ｊ２６で決まる平面上に基準状態では存在する。
【０１２２】
　手部側正面リンク取付部Ｊ２９は、手首板部９１の前腕側の面に設けられた突起から手首関節部３６の方向に出る回転部材により回転するヨークに、前腕部正面リンク３７Ｌの一端に設けられた軸部材が回転可能に保持される２軸ジンバルである。手部側外側リンク取付部Ｊ３０、手部側内側リンク取付部Ｊ３１も同様な構造の２軸ジンバルである。
【０１２３】
　前腕部正面リンク３７Ｌ、前腕部外側リンク３８Ｌおよび前腕部内側リンク３９Ｌのそれぞれは、その一端が手部側正面リンク取付部Ｊ２９、手部側外側リンク取付部Ｊ３０および手部側内側リンク取付部Ｊ３１のそれぞれに２回転自由度で取付けられる。それぞれの他端は、前腕部側正面リンク取付部Ｊ２６、前腕部側外側リンク取付部Ｊ２７、前腕部側内側リンク取付部Ｊ２８のそれぞれに２回転自由度で取付けられる。
【０１２４】
　手首部Ｃ６は、第２部材である手部９を第１部材である前腕部８に３回転自由度で回転可能に接続する３回転自由度接続機構である。手首部Ｃ６は、関節部である手首関節部３６、３本の可変長リンクである前腕部正面リンク３７Ｌ、前腕部外側リンク３８Ｌおよび前腕部内側リンク３９Ｌ、３個の第１部材側リンク取付部である前腕部正面リンク取付部Ｊ２６、前腕部外側リンク取付部Ｊ２７および前腕部内側リンク取付部Ｊ２８、３個の第２部材側リンク取付部である手部側正面リンク取付部Ｊ２９、手部側外側リンク取付部Ｊ

３０および手部側内側リンク取付部Ｊ３１を有して構成される。
【０１２５】
　第１部材である前腕部８は、捻り軸でもある。前腕部８は、手部９に対する角度が変更可能である。前腕部正面リンク取付部Ｊ２６、前腕部外側リンク取付部Ｊ２７および前腕部内側リンク取付部Ｊ２８では、手首関節部３６に対する相対的な位置関係は、固定されている。第２部材である手部９に設けられたリンク取付部である手部側正面リンク取付部Ｊ２９、手部側外側リンク取付部Ｊ３０および手部側内側リンク取付部Ｊ３１でも、手首関節部３６に対する相対的な位置関係は、手首板部９１により固定されている。
【０１２６】
　手首部Ｃ６での可変長リンクの配置を説明する。図５０は、左の手首部Ｃ６での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。３個の第１部材側リンク取付部Ｊ２６、Ｊ２７、Ｊ２８と３個の第２部材側リンク取付部Ｊ２９、Ｊ３０、Ｊ３１とをそれぞれ結ぶ３本の可変長リンク３７Ｌ、３８Ｌ、３９Ｌを、手首部Ｃ６は有する。そのため、３本の可変長リンク３７Ｌ、３８Ｌ、３９Ｌの長さを変更することで、手部９の前腕部８に対する接続角度を３回転自由度で変更できる。手首関節部３６のＸ軸回りの回転角度をαv、Ｙ軸回りの回転角度をβv、Ｚ軸回りの回転角度をγvとする。
【０１２７】
　手首関節部３６は、第２部材側リンク取付部Ｊ２９、Ｊ３０、Ｊ３１で決まるリンク取付平面の上にある。そのため、手首関節部３６は、リンク取付平面と捻り軸８との交点である捻り中心でもある。第２部材三角形Ｔ３は、正三角形である。手首関節部３６は、第２部材三角形Ｔ３の重心の位置に存在する。第２部材側リンク取付部Ｊ２９と捻り中心を通る直線に対して、第２部材側リンク取付部Ｊ３０、Ｊ３１は対称に配置される。
【０１２８】
　図５１は、基準状態で左の手首部Ｃ６での可変長リンクの配置を前腕部が延在する方向から見た図である。基準状態で、可変長リンク３８Ｌ、３９Ｌは、捻り軸３６とねじれの関係にある。可変長リンク３７Ｌの第１部材側リンク取付部Ｊ２６と捻り軸８とを含むリンク基準面と可変長リンク３７Ｌとがなす傾斜角度θv1は、０度である。可変長リンク３８Ｌ、３９Ｌの傾斜角度θv2、θv3は、約８．１度である。基準状態では、３本の可変長リンク３７Ｌ、３８Ｌ、３９Ｌの傾斜角度の最大値θvmaxは約８．１度であり、δ0（例えば、３度程度）以上である。可変長リンク３８Ｌ、３９Ｌの長さを変化させる場合に、捻り軸８の回りに回転するトルクが発生し、捻り軸８の回りを回転させることができる。
【０１２９】
　手部９を前腕部８に対して可動範囲内で傾けたり捻ったりした場合でも、３本の可変長リンク３７Ｌ、３８Ｌ、３９Ｌの少なくとも１本は捻り軸８とねじれの関係にあり、その傾斜角度の最大値θvmaxは、δ0以上である。基準状態では、可変長リンク３７Ｌは捻り軸８と同一平面上にあり、可変長リンク３８Ｌ、３９Ｌは捻り軸８とねじれの関係にある。可変長リンク３７Ｌを捻り軸８と同一平面上にあるようにしたままで、可変長リンク３８Ｌ、３９Ｌの傾斜角度θv2、θv3がどちらも小さくなるのは、手部９を第４指部９６側に傾ける場合である。図５２は、左の手首部Ｃ６を第４指部９６側に傾けた状態での可変長リンクの配置を前腕部８が延在する方向から見た図である。図５２では、第４指部側に２０度、手部９を傾けている。可変長リンク３８Ｌ、３９Ｌの傾斜角度θv2、θv3は、約７．４度である。手首部Ｃ６を手の平の方向または手の甲方向に傾ける場合、および手首部Ｃ６を捻り軸８の回りに回転させる場合は、可変長リンク３８Ｌ、３９Ｌの傾斜角度θv2、θv3の一方が大きくなり、もう一方が小さくなる。
【０１３０】
　図１１、図２１、図２２、図５３から図６１を参照して、大腿部１０を腰部６に対して動かす股部Ｃ７の構造を説明する。図５３、図５４、図５５は、骨格構造での腰部から下の部分の正面図、左側面図および背面図である。図５６は、骨格構造での膝関節部４０から下の部分の斜視図である。図５７、図５８、図５９は、大腿部を拡大した正面図、左側面図および背面図である。図６０は、大腿部を右斜め前から見た斜視図である。図６１は

、大腿部を右斜め後から見た斜視図である。
【０１３１】
　図５３に示されるように、基準状態では、正面から見た大腿部１０を通る直線を股関節部２２よりも上側に延ばした直線上に、股部正面リンク取付部Ｊ１１が存在する。股部外側リンク取付部Ｊ１２は、水平に外側に出ている。股部内側リンク取付部Ｊ１３は、内側で斜め前下の方向に出ている。基準状態では、正面から見ると、股関節部２２、膝関節部４０、足首関節部４１が鉛直な同一直線上に存在する。図５８に示すように、平板上の下肢部接続フレーム６２は、水平面（ＸＹ平面）に対して角度ξ３（約４５度）で傾斜し、前方が高い。そのため、股部正面リンク取付部Ｊ１１、股部外側リンク取付部Ｊ１２および股部内側リンク取付部Ｊ１３で決まる平面は、その法線が前方斜め下を向く。
10
【０１３２】
　大腿部１０は、棒状の大腿骨部１０Ａ、大腿骨部１０Ａに垂直に設けられた膝部側リンク取付板１０Ｂ、膝部側リンク取付板１０Ｂと膝関節部４０をつなぐ２個のフレームである膝部接続フレーム１０Ｃを有する。膝部接続フレーム１０Ｃは、膝関節部４０が大腿骨部１０Ａよりも後方に位置するように、大腿骨部１０Ａに対して傾斜して膝部側リンク取付板１０Ｂと接続する。膝部側リンク取付板１０Ｂに設けられた３個のリンク取付部に、股関節部２２を３回転自由度で回転させる３本の可変長リンクの一端がそれぞれ取付けられる。膝関節部４０が大腿骨部１０Ａよりも後方に存在することで、基準状態で股関節部２２、膝関節部４０、足首関節部４１が、正面から見て鉛直線上に存在するように配置しやすい。
20
【０１３３】
　大腿部正面リンク２３Ｌ、大腿部外側リンク２４Ｌおよび大腿部内側リンク２５Ｌは、大腿部１０に垂直な膝部側リンク取付板１０Ｂに設けられた膝部正面リンク取付部Ｊ３２、膝部外側リンク取付部Ｊ３３および膝部内側リンク取付部Ｊ３４にそれぞれ取付けられる。膝部側リンク取付板１０Ｂは、中心側でつながった３個の長方形が互いに１２０度の角度を有する方向に伸びた形状である。膝部正面リンク取付部Ｊ３２が設けられる長方形は、大腿部１０の正面側に存在する。
【０１３４】
　膝部正面リンク取付部Ｊ３２は、２個の円筒が十字型に接合した十字部材を使用して２回転自由度で回転可能とする構造である。膝部側リンク取付板１０Ｂに、十字部材の一方の円筒を回転可能に保持するヨークが設けられる。大腿部正面リンク２３Ｌの一端には、十字部材の他方の円筒を回転可能に保持するヨークが設けられる。
30
　膝部外側リンク取付部Ｊ３３、膝部内側リンク取付部Ｊ３４も、膝部正面リンク取付部Ｊ３２と同様な構造である。
【０１３５】
　股部Ｃ７は、第２部材である大腿部１０を第１部材である腰部６に３回転自由度で回転可能に接続する３回転自由度接続機構である。股部Ｃ７は、関節部である股関節部２２、３本の可変長リンクである大腿部正面リンク２３Ｌ、大腿部外側リンク２４Ｌおよび大腿部内側リンク２５Ｌ、３個の第１部材側リンク取付部である股部正面リンク取付部Ｊ１１、股部外側リンク取付部Ｊ１２および取付部Ｊ１３、３個の第２部材側リンク取付部である膝部正面リンク取付部Ｊ３２、膝部外側リンク取付部Ｊ３３および膝部内側リンク取付部Ｊ３４を有して構成される。
40
【０１３６】
　捻り軸である大腿骨部１０Ａは、大腿部１０に対して方向が固定されている。大腿骨部１０Ａは、腰部６に対する角度が変更可能である。股部正面リンク取付部Ｊ１１、股部外側リンク取付部Ｊ１２および取付部Ｊ１３では、股関節部２２に対する相対的な位置関係は、下肢部接続フレーム６２により固定されている。膝部正面リンク取付部Ｊ３２、膝部外側リンク取付部Ｊ３３および膝部内側リンク取付部Ｊ３４でも、股関節部２２に対する相対的な位置関係は、大腿骨部１０Ａおよび膝部側リンク取付板１０Ｂにより固定されている。
50

【０１３７】
　股関節部２２を動かすための可変長リンクの配置を説明する。図６２は、左の股部Ｃ７での可変長リンクの配置を説明する斜視図である。３個の第１部材側リンク取付部Ｊ１１、Ｊ１２、Ｊ１３と３個の第２部材側リンク取付部Ｊ３２、Ｊ３３、Ｊ３４とをそれぞれ結ぶ３本の可変長リンク２３Ｌ、２４Ｌ、２５Ｌを、股部Ｃ７は有する。そのため、３本の可変長リンク２３Ｌ、２４Ｌ、２５Ｌの長さを変更することで、大腿部１２の腰部６に対する接続角度を３回転自由度で変更できる。股関節部２２のＸ軸回りの回転角度をαq、Ｙ軸回りの回転角度をβq、Ｚ軸回りの回転角度をγqとする。
【０１３８】
　股部Ｃ７は、大腿部１０を前方に例えば９０度程度上げることができ、後方に例えば１０度上げることができる。左右方向には、内側に例えば１０度程度、外側に３０度程度、大腿部１０を動かすことができる。また、大腿骨部１０Ａの回りに、例えば、外側（股を開く向き）に２０度程度、内側に１０度の捻り回転ができる。
【０１３９】
　図６３は、左の股部Ｃ７での可変長リンクの配置を大腿骨部が延在する方向から見た図である。基準状態で、可変長リンク２４Ｌ、２５Ｌと捻り軸１０Ａとはねじれの関係にある。可変長リンク２３Ｌの第２部材側リンク取付部Ｊ３２と捻り軸１０Ａとを含むリンク基準面と可変長リンク２３Ｌとがなす傾斜角度θq1は、０度である。可変長リンク２４Ｌの傾斜角度θq2は、約１．９度である。可変長リンク２５Ｌの傾斜角度θq3は、約３．９度である。３本の可変長リンク２３Ｌ、２４Ｌ、２５Ｌの傾斜角度の最大値θqmaxは、δ0（例えば、３度程度）以上である。可変長リンク２４Ｌ、２５Ｌの長さを変化させた場合に、捻り軸１０Ａの回りに回転するトルクが発生し、捻り軸１０Ａの回りを回転させることができる。
【０１４０】
　図６４は、左の股部Ｃ７の大腿部１０を左前方に上げた状態での可変長リンクの配置を大腿骨部１０Ａが延在する方向から見た図である。図６４は、左前方１５度の方向に大腿部１０を３０度上げた状態である。大腿部１０を上げると、図６４から分るように、下肢部接続フレーム６２が図における上下方向に長くなり、可変長リンク２５Ｌの傾斜角度θq3は、図６３の場合よりも大きくなっている。また、可変長リンク２３Ｌの傾斜角度θq1も、大きくなっている。大腿部１０を可動範囲内で動かす際に、すなわち股関節部２２の可動範囲内の各状態で、少なくとも１本の可変長リンク２３Ｌ、２４Ｌ、２５Ｌは捻り軸１０Ａとねじれの関係にある。また、股関節部２２の可動範囲内の各状態で、３本の可変長リンク２３Ｌ、２４Ｌ、２５Ｌの傾斜角度の最大値θqmaxは、δ0（例えば、３度程度）以上である。
【０１４１】
　股関節部２２が大腿骨部１０Ａの回りに回転可能であることは、人型ロボット１００が方向を変えて歩く際に必要である。股関節部２２が大腿骨部１０Ａの回りに回転できない場合には、人型ロボット１００は正面を向いたまま斜め方向に歩くことになる。また、下肢部3を動かして体全体の向きを変える際には、股関節部２２で開脚方向を変更できる必要がある。
【０１４２】
　図６５により、股関節部２２を動かす可変長リンクを正面側で高く裏面側で低く取付けることによる効果を説明する。図６５では、図を簡明にするため、可変長リンク２３Ｌ、２４Ｌだけを示す。図６５では、左側にこの実施の形態１のように股関節部２２を動かす可変長リンク２３Ｌ、２４Ｌ、２５Ｌを正面側で高く裏面側で低く取付けた場合の側面図を示す。右側に、股関節部２２を動かす可変長リンク２３Ｌ、２４Ｌ、２５Ｌをすべて同じ高さに取付けた場合の側面図を示す。直立した状態を実線で示し、大腿部を前に４５度および可動範囲の限界まで上げた状を破線で示す。
【０１４３】
　股関節部２２を動かす可変長リンク２３Ｌ、２４Ｌ、２５Ｌをすべて同じ高さに取付け

ると、正面側で高くした場合よりも股関節部２２の前側の可動範囲が小さくなる。大腿部１０および膝関節部４０が前方に位置する方向に股関節部２２を回転させると、可変長リンク２３Ｌと下肢部接続フレーム６２とが干渉するからである。正面側の可変長リンク２３Ｌを高い位置にすると、可変長リンク２３Ｌと下肢部接続フレーム６２とが干渉しにくくなり、股関節部２２を前側に大きく回転させることができ、大腿部１０をより上まで上げることができる。

【０１４４】

すべて同じ高さに取付ける場合には、可動範囲が狭いにも関わらず、可動範囲の限界まで股関節部２２を動かす際に、正面側を高く取付けた場合よりも、可変長リンク２４Ｌを長くする必要がある。逆に、可変長リンク２３Ｌは短くする必要がある。

【０１４５】

図５３から図６２を参照して、下腿部１１を大腿部１０に対して動かす膝部Ｃ８の構造を説明する。図５６に示すように、膝関節部４０は、板状の下腿部１１を２個の膝部接続フレーム１０Ｃが挟んで、回転軸を通した構造である。基準状態では、回転軸はＸ軸に平行である。２個の膝部接続フレーム１０Ｃは、強度を高めるために正面側で連結板１０Ｄにより連結している。連結板１０Ｄは、膝関節部４０が逆方向に曲がることを防止する機能も持つ。図５８などに示すように、膝関節部４０は、大腿部１０の裏側に設けられた１本の膝部駆動アクチュエータ４２が有する膝部駆動リンク４２Ｌが長さを変えることにより、角度が変更される。下腿部１１は、膝関節部４０の近くで曲がり、足首関節部４１から決められた距離の位置でも曲がった板状の部材である。下腿部１１は、膝関節部４０と足首関節部４１とを結ぶ直線よりも前側に存在する。

【０１４６】

膝部駆動アクチュエータ４２は、膝関節部４０の側で動力源であるモータ４２Ｍからの力がギヤで膝部駆動リンク４２Ｌに伝えられる構造である。

【０１４７】

股関節部２２に近い大腿骨部１０Ａの後側の位置に、膝部駆動リンク４２Ｌの一端が１回転自由度で取付けられる膝部駆動リンク取付部Ｊ３５が設けられる。膝部駆動リンク取付部Ｊ３５は、大腿骨部１０Ａ側にヨークが設けられ、膝部駆動リンク４２Ｌの一端に円柱状の軸部材が設けられた構造である。

【０１４８】

膝部駆動リンク４２Ｌは、膝関節部４０側では２個の補助具を使用して、大腿部１０と下腿部１１の両方に接続している。２個の補助具とは、大腿部側補助具４３と下腿部側補助具４４である。大腿部側補助具４３は、一端が膝部駆動リンク４２Ｌの一端に回転可能に取付けられる。大腿部側補助具４３の一端と膝部駆動リンク４２Ｌの一端が取付けられる箇所を、膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７と呼ぶ。大腿部側補助具４３の他端は、大腿部１０の後側に設けられた大腿部側補助具取付部Ｊ３６に回転可能に取付けられる。下腿部側補助具４４の一端も、膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７に回転可能に取付けられる。下腿部側補助具４４の他端は、下腿部１１の後側に設けられた下腿部側補助具取付部Ｊ３８に回転可能に取付けられる。

【０１４９】

大腿骨部１０Ａの膝部側リンク取付板１０Ｂよりも少し手前の位置から棒状の大腿部側補助具取付部１０Ｄが後側に伸びる。大腿部側補助具取付部１０Ｄの先端に、大腿部側補助具取付部Ｊ３６が設けられる。大腿部側補助具取付部Ｊ３６は、膝部側リンク取付板１０Ｂの近くに存在する。大腿部側補助具４３は、２個のフレームの側面を連結した形状である。大腿部側補助具取付部１０Ｄの先端には貫通穴が設けられている。また、大腿部側補助具４３の両端にも貫通穴が設けられている。大腿部側補助具取付部Ｊ３６は、それぞれの貫通穴の位置が一致するように大腿部側補助具４３が大腿部側補助具取付部１０Ｄを挟み、それらの貫通穴を回転軸が通る構造である。

【０１５０】

大腿部側補助具４３の反対側の端は、膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７で下腿部側補

助具４４および膝部駆動リンク４２Ｌと１回転自由で接続する。下腿部側補助具４４は、２個のフレームの側面を連結した形状である。膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７では、大腿部側補助具４３が膝部駆動リンク４２Ｌを挟む。さらに、下腿部側補助具４４が、大腿部側補助具４３および膝部駆動リンク４２Ｌを挟む。この挟んだ箇所には、下腿部側補助具４４、大腿部側補助具４３および膝部駆動リンク４２Ｌに、それぞれ貫通穴が設けられる。それらの貫通穴を通る回転軸により、大腿部側補助具４３、下腿部側補助具４４および膝部駆動リンク４２Ｌは互いに１回転自由度で回転可能である。

【０１５１】

下腿部１１が膝関節部４０の側で曲がる箇所の近くに、下腿部側補助具取付部Ｊ３８が設けられる。下腿部側補助具取付部Ｊ３８には、下腿部側補助具４４の一端が１回転自由度で回転可能に取付けられる。下腿部側補助具取付部Ｊ３８は、下腿部１１および下腿部側補助具４４に設けられた貫通穴に回転軸を通した構造である。下腿部側補助具取付部Ｊ３８により、下腿部側補助具４４は、下腿部１１に１回転自由度で取付けられる。

10

【０１５２】

図６６は、左の膝関節部４０を動かす可変長リンクの配置を説明する斜視図である。膝関節部４０、膝部駆動リンク取付部Ｊ３５および大腿部側補助具取付部Ｊ３６は、大腿部１０に固定されており、互いの相対的な位置関係は固定である。下腿部側補助具取付部Ｊ３８は、下腿部１１に固定されている。下腿部側補助具取付部Ｊ３８は、膝関節部４０からの距離が決まっている。膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７は、大腿部側補助具取付部Ｊ３６および下腿部側補助具取付部Ｊ３８からの距離がそれぞれ決まっている。したがって、膝関節部４０の回転角度が決まると、パンタグラフのように大腿部側補助具４３と下腿部側補助具４４が動き、膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７の位置が決まる。逆に、膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７の位置が決まると、膝関節部４０の回転角度が決まる。

20

【０１５３】

膝部駆動リンク４２Ｌの長さは、膝部駆動リンク取付部Ｊ３５と膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７との間の距離になる。よって、膝部駆動リンク４２Ｌの長さを変えることで、膝関節部４０の回転角度を変えることができる。

【０１５４】

膝部Ｃ８は、膝関節部４０、膝部駆動アクチュエータ４２、大腿部１０の後側に設けられた膝部駆動リンク取付部Ｊ３５、大腿部側補助具４３、大腿部１０の後側に設けられた大腿部側補助具取付部Ｊ３６、下腿部側補助具４４、下腿部の後側に設けられた下腿部側補助具取付部Ｊ３８を有して構成される。膝関節部４０は、大腿部１０と下腿部１１を１回転自由度で接続する。膝部駆動アクチュエータ４２は、長さが変更可能な膝部駆動リンク４２Ｌとモータ４２Ｍを有する。膝部駆動リンク取付部Ｊ３５には、膝部駆動リンク４２の一端が回転可能に取付けられる。大腿部側補助具４３には、一端が膝部駆動リンク４２Ｌの他端に回転可能に取付けられる。大腿部側補助具取付部Ｊ３６には、大腿部側補助具４３の他端が回転可能に取付けられる。下腿部側補助具４４には、一端が膝部駆動リンク４２Ｌの他端に回転可能に取付けられる。下腿部側補助具取付部Ｊ３８には、下腿部側補助具４４の他端が回転可能に取付けられる。

30

【０１５５】

40

膝部Ｃ８は、股関節部２２、膝関節部４０および足首関節部４１が同一直線上に配置される状態から、大腿部１０と下腿部１１の間の角度が例えば４０度程度まで曲げることができる。

【０１５６】

大腿部側補助具４３および下腿部側補助具４４を有するので、膝部駆動リンク４２Ｌの伸縮による力をパンタグラフのようにして大腿部側補助具取付部Ｊ３６および下腿部側補助具取付部Ｊ３８に伝えることができる。そのため、大腿部１０と下腿部１１とが平行に近くなるほどに膝関節部４０を大きく曲げた場合に、膝関節部４０を回転させる力を伝えやすくなる。その結果、膝部駆動アクチュエータ４２が発生する力が小さくても、膝関節部４０の屈伸運動をよりスムーズにできるようになる。

50

【０１５７】
　図５３から図５６、図６７から図７０を参照して、足部１２を下腿部１１に対して動かす足首部Ｃ９の構造を説明する。図６７、図６８、図６９および図７０は、下腿部１１から下の部分の正面図、左側面図、背面図および斜視図である。
【０１５８】
　足首関節部４１は、足部１２を下腿部１１に対して前後および左右の２回転自由度で接続する２軸ジンバルである。下腿部１１の下端には、下腿部１１が前後方向に回転できるように左右方向の円柱状の部分が設けられている。下腿部１１のこの円柱状の部分を前後回転ヨーク４１Ａが挟んで回転可能に保持し、下腿部１１が前後回転ヨーク４１Ａに対して前後方向に回転できる。前後回転ヨーク４１Ａの前後方向の面には円柱状の部分（軸部材）が設けられている。足部１０に設けられた左右回転ヨーク４１Ｂが、前後回転ヨーク４１Ａの軸部材を前後から挟んで回転可能に保持し、下腿部１１および前後回転ヨーク４１Ａが足部１２に対して左右方向に回転できる。
【０１５９】
　足部１２は、下腿部外側アクチュエータ４５および下腿部内側アクチュエータ４６により、足首関節部４１の回りを前後および左右の２回転自由度で回転できる。板状の下腿部１１の左右の面に、下腿部外側リンク４５Ｌ、下腿部内側リンク４６Ｌの一端を２回転自由度で取付ける下腿部外側リンク取付部Ｊ３９、下腿部内側リンク取付部Ｊ４０が設けられる。下腿部外側リンク取付部Ｊ３９は、回転部材、ヨーク、軸部材が下腿１１側に設けられており、下腿部外側リンク４５Ｌの一端に設けられた円筒の中に軸部材が入る構造である。下腿部内側リンク取付部Ｊ４０も同様な構造である。
【０１６０】
　下腿部外側アクチュエータ４５は、足部１２の側でモータ４５Ｍからの力がギヤで下腿部外側リンク４５Ｌに伝えられる構造である。下腿部内側アクチュエータ４６も、同様な構造である。
【０１６１】
　足部１２の後部の左右の位置に、下腿部外側リンク４５Ｌ、下腿部内側リンク４６Ｌのもう一端をそれぞれ２回転自由度で取付ける足部外側リンク取付部Ｊ４１、足部内側リンク取付部Ｊ４２が設けられる。足部外側リンク取付部Ｊ４１、足部内側リンク取付部Ｊ４２は、下腿部外側リンク取付部Ｊ３９、下腿部内側リンク取付部Ｊ４０と同様な構造の２軸ジンバルである。
【０１６２】
　足部外側リンク取付部Ｊ４１と足部内側リンク取付部Ｊ４２の間隔は、下腿部外側リンク取付部Ｊ３９と下腿部内側リンク取付部Ｊ４０の間隔よりも大きい。そうすることで、足首関節部４１を左右方向に回転させやすくなる。
【０１６３】
　足部１２は、足首関節部４１、足本体部１２Ａと、足本体部１２Ａの前側に設けられたつま先部１２Ｂとを有する。足本体部１２Ａには、足部外側リンク取付部Ｊ４１および足部内側リンク取付部Ｊ４２が設けられる。足本体部１２Ａとつま先部１２Ｂとは、つま先関節部１２Ｃによりつま先部１２Ｂの足本体部１２Ａに対する上下方向の角度を変更できる。つま先部１２Ｂと足本体部１２Ａとの間には図示しないバネが設けられており、つま先部１２Ｂを曲げる力が加えられるとつま先部１２Ｂが力に応じて適度に曲がる。
【０１６４】
　足本体部１２Ａの後端の中央に、かかと車輪部１２Ｄが設けられる。かかと車輪部１２Ｄは、適度な回転摩擦を有する車輪である。かかと車輪部１２Ｄが有ることで、人型ロボット１００が歩く際に、足部１２の後側の角（かかと）がなめらかに着地できる。また、かかとの着地を回転しながら知らせるタッチセンサーの役目を、かかと車輪部１２Ｄは有する。つま先関節部１２Ｃ付近の足部１２の側面には、適度な回転摩擦を有する足側面車輪部１２Ｅが設けられる。足側面車輪部１２Ｅは、かかとだけでなく足部１２の全体が着地したことを知らせるタッチセンサーの役目を有する。足側面車輪部１２Ｅにより、移動

する際につま先部１２Ｂが床または地面と接触していることを回転しながら検出し、その後、離間したことを検出することができる。

【０１６５】

図７１は、左の足首関節部４１を動かす可変長リンクの配置を説明する斜視図である。足首関節部４１、足部外側リンク取付部Ｊ４１および足部内側リンク取付部Ｊ４２は足本体部１２Ａに固定されており、互いの相対的な位置関係は固定である。下腿部外側リンク取付部Ｊ３９および下腿部内側リンク取付部Ｊ４０は、下腿部１１に固定されている。足首関節部４１、下腿部外側リンク取付部Ｊ３９および下腿部内側リンク取付部Ｊ４０は、互いの相対的な位置関係は固定である。下腿部外側リンク４５Ｌと下腿部内側リンク４６Ｌは、長さが変更可能な可変長リンクである。下腿部外側リンク４５Ｌは、下腿部外側リンク取付部Ｊ３９と足部外側リンク取付部Ｊ４１とを結ぶ。下腿部内側リンク４６Ｌは、下腿部内側リンク取付部Ｊ４０と足部内側リンク取付部Ｊ４２とを結ぶ。下腿部外側リンク４５Ｌおよび下腿部内側リンク４６Ｌの長さを変更すると、下腿部４１の足本体部１２Ａに対する接続角度を、Ｘ軸回りおよびＹ軸回りに変更することができる。足首関節部４１のＸ軸回りの回転角度をαm、Ｙ軸回りの回転角度をβmとする。

【０１６６】

足首部Ｃ９は、足首関節部４１、下腿部外側アクチュエータ４５および下腿部内側アクチュエータ４６を有する。足首関節部４１は、下腿部１１の下部と足部１２を少なくとも２回転自由度を有して接続する。下腿部外側アクチュエータ４５および下腿部内側アクチュエータ４６は、下腿部外側リンク４５Ｌおよび下腿部内側リンク４６Ｌと、モータ４５Ｍおよびモータ４６Ｍをそれぞれ有する２本の足首部アクチュエータである。足首部Ｃ９は、さらに、下腿部外側リンク取付部Ｊ３９および下腿部内側リンク取付部Ｊ４０、足部外側リンク取付部Ｊ４１および足部内側リンク取付部Ｊ４２を有する。下腿部外側リンク取付部Ｊ３９および下腿部内側リンク取付部Ｊ４０は、下腿部外側リンク４５Ｌおよび下腿部内側リンク４６Ｌの一端がそれぞれ回転可能に取付けられる下腿部１１に設けられた２個の下腿部側リンク取付部である。足部外側リンク取付部Ｊ４１および足部内側リンク取付部Ｊ４２は、下腿部外側リンク４５Ｌおよび下腿部内側リンク４６Ｌの一端がそれぞれ回転可能に取付けられる２個の足部側リンク取付部である。足部外側リンク取付部Ｊ４１および足部内側リンク取付部Ｊ４２は、足首関節部４１よりも後の位置で足本体部１２Ａに設けられる。

【０１６７】

足首部Ｃ９は、足首関節部４１を、足首関節部４１と膝関節部４０を結ぶ直線が足部１２に対して例えば前方６０度程度から後方３０度程度の角度をなす範囲で回転させることができ、左右方向には例えば１５度程度傾けることができる。

【０１６８】

下腿部外側リンク４５Ｌおよび下腿部内側リンク４６Ｌを両方とも長くすると、下腿部４１を前に傾けることができる。下腿部外側リンク４５Ｌおよび下腿部内側リンク４６Ｌを両方とも短くすると、下腿部４１を後に傾けることができる。下腿部外側リンク４５Ｌを長くし、下腿部内側リンク４６Ｌ短くすると、下腿部４１を内側に傾けることができる。下腿部外側リンク４５Ｌを短くし、下腿部内側リンク４６Ｌ長くすると、下腿部４１を外側に傾けることができる。

【０１６９】

図７２から図７９を参照して、手部９の構造を説明する。図７２は、左の手部９を手の平側から見た斜視図である。図７３は、左の手部９を手の甲側から見た斜視図である。図７４、図７５、図７６、および図７７は、左の手部９の正面図、対向可能指部９７が存在する側から見た側面図、裏面図、および対向可能指部９７が存在しない側から見た側面図である。図７８は、左の手部９を指先側から見た図である。図７９は、左の手部９の第２指部９４を断面で表示した図である。

【０１７０】

手首板部９１に掌板部９２を取付ける手部取付部９８は、図７４および図７９から分る

ように、取付板部９８Ａと掌板接続部９８Ｂとが、横から見るとＬ字状に接続した部材である。取付板部９８Ａは、手首板部９１に接続する。掌板接続部９８Ｂには、掌板部９２が接続される。取付板部９８Ａと向き合う掌板部９２の辺に、第１指部９３、第２指部９４、第３指部９５および第４指部９６が接続する。基準状態では、第１指部９３、第２指部９４、第３指部９５および第４指部９６は、掌板部９２と略平行な方向に延在する。第２指部９４が手首板部９１のほぼ中央に位置する。第１指部９３、第２指部９４、第３指部９５、第４指部９６は、根元側よりも先端側の間隔が広くなるように設けられる。図７６から分るように、第２指部９４は取付板部９８Ａに対して垂直で、第２指部９４の中心と取付板部９８Ａの中心は一致している。

【０１７１】

対向可能指部９７は、第１指部９３などにほぼ直交する方向に回転可能に、第１指部９３などよりも取付板部９８Ａに近い側かつ第１指部９３側の掌板部９２に設けられる。掌板部９２は、指部が接続する基部である。手部９の基準状態では、掌板部９２に垂直な方向から見ると、対向可能指部９７は掌板部９２と並んで延在する。

【０１７２】

第１指部９３、第２指部９４、第３指部９５および第４指部９６は、同様な構造である。第１指部９３、第２指部９４、第３指部９５、第４指部９６を普通指部と呼ぶ。図において符合が付けやすい第４指部９６で、普通指部の構造を説明する。

【０１７３】

第４指部９６は、掌板部９２に近い側から第１指節部９６Ａ、第２指節部９６Ｂおよび第３指節部９６Ｃが直列に接続する。掌板部９２と第１指節部９６Ａとの間には、第１指関節部９６Ｄが存在する。第１指関節部９６Ｄは、第１指節部９６Ａを掌板部９２に回転可能に接続する。第１指節部９６Ａと第２指節部９６Ｂとの間には、第２指関節部９６Ｅが存在する。第２指関節部９６Ｅは、第２指節部９６Ｂを第１指節部９６Ａに回転可能に接続する。第２指節部９６Ｂと第３指節部９６Ｃとの間には、第３指関節部９６Ｆが存在する。第３指関節部９６Ｆは、第３指節部９６Ｃを第２指節部９６Ｂに回転可能に接続する。第１指関節部９６Ｄ、第２指関節部９６Ｅおよび第３指関節部９６Ｆの回転軸は、互いに平行である。

【０１７４】

掌板部９２、第１指節部９６Ａ、第２指節部９６Ｂおよび第３指節部９６Ｃの中の隣接する２個に関して、掌板部９２に近い側を基部側部材、基部側部材でない側を先端側部材と呼ぶ。第１指関節部９６Ｄ、第２指関節部９６Ｅ、第３指関節部９６Ｆは、第１指節部９６Ａ、第２指節部９６Ｂ、第３指節部９６Ｃの何れかである先端側部材を基部側部材に回転可能に接続する３個の指関節部である。

【０１７５】

基準状態では、第１指関節部９６Ｄは、掌板部９２の裏面側に存在する。図４７に示すように、基準状態での手部9を側面から見ると、第１指関節部９６Ｄ、第２指関節部９６Ｅ、第３指関節部９６Ｆの回転軸は、取付板部９８Ａにほぼ垂直な１個の平面上にある。この平面上または近くを、基準状態で前腕部８を手部９の側に延長した線が通る。基準状態では、取付板部９８Ａに対して前腕部７が垂直である。

【０１７６】

第１指関節部９６Ｄの回転軸は、掌板部９２の裏面側に設けられた指元ヨーク９６Ｇに保持される。第１指関節部９６Ｄの回転軸は、掌板部９２から少し外側に出た決められた位置に配置される。指元ヨーク９６Ｇの間には、指部第１モータ９６Ｈが配置される。第１指部モータ９６Ｈの回転軸に直結した第１ウォーム９６Ｊ(ねじ歯車)が、第１指関節部９６Ｄの回転軸の回りを回転する第１ウォームホイール９６Ｋ(斜歯歯車)とかみ合う。第１ウォーム９６Ｊは、掌板部９２側で第１ウォームホイール９６Ｋとかみ合う。指部第１モータ９６Ｈおよび第１ウォーム９６Ｊは、掌板部９２に対して傾斜して設けられる。第１ウォームホイール９６Ｋは第１指節部９６Ａに取付けられている。第１指部モータ９６Ｈが回転すると、第１ウォーム９６Ｊが回転し、第１ウォームホイール９６Ｋが第１指節

部９６Ａと共に回転する。

【０１７７】

第１指関節部９６Ｄは、掌板部９２に配置され指部第１モータ９６Ｈ、指部第１モータ９６Ｈにより回転する第１ウォーム９６Ｊ、第１ウォーム９６Ｊとかみ合い第１指節部９６Ａと共に第１指関節部９６Ｄの回転軸の回りを回転する第１ウォームホイール９６Ｋを有するウォームギヤ機構により第１指節部９６Ａを掌板部９２に対して回転させる。

【０１７８】

第１指節部９６Ａは、第１ウォームホイール９６Ｋと共に回転する部材と、第２指関節部９６Ｅの回転軸を保持するヨーク部材とが指先に向かう方向で結合した構造である。第１指節部９６Ａに、指部第２モータ９６Ｌが取付けられる。指部第２モータ９６Ｌの回転軸に直結した第２ウォーム９６Ｍが、第２指関節部９６Ｅの回転軸の回りを回転する第２ウォームホイール９６Ｎとかみ合う。指部第２モータ９６Ｌおよび第２ウォーム９６Ｍは、第１指節部９６Ａに対して傾斜して設けられる。第２ウォームホイール９６Ｎは第２指節部９６Ｂに取付けられている。指部第２モータ９６Ｌが回転すると、第２ウォーム９６Ｍが回転し、第２ウォームホイール９６Ｎが第２指節部９６Ｂと共に回転する。

【０１７９】

第２指関節部９６Ｅは、第１指節部９６Ａに配置され指部第２モータ９６Ｌ、指部第２モータ９６Ｌにより回転する第２ウォーム９６Ｍ、第２ウォーム９６Ｍとかみ合い第２指節部９６Ｂと共に第２指関節部９６Ｅの回転軸の回りを回転する第２ウォームホイール９６Ｎを有するウォームギヤ機構により第２指節部９６Ｂを第１指節部９６Ａに対して回転させる。

【０１８０】

第１指関節部９６Ｄと第２指関節部９６Ｅは、それぞれ別のモータにより駆動されるので、第１指関節部９６Ｄの回転角度と第２指関節部９６Ｅの回転角度は独立に決めることができる。

【０１８１】

基準状態において、第１指関節部９６Ｄが第１指節部９６Ａを回転させる方向、第２指関節部９６Ｅが第２指節部９６Ｂを回転させる方向、第３指関節部９６Ｆが第３指節部９６Ｃを回転させる方向は、すべて手の平側に向かう方向である。

【０１８２】

指部第１モータ９６Ｈおよび第１ウォーム９６Ｊを掌板部９２に対して傾斜して設けることで、掌板部９２を小さくすることができる。指部第２モータ９６Ｌおよび第２ウォーム９６Ｍを第１指節部９６Ａに対して傾斜して設けることで、第１指節部９６Ａを短くすることができる。その結果、手部９を人の手と同程度の大きさにできる。

【０１８３】

図７９を参照して、第３指関節部９４Ｆを回転させる機構を説明する。第３指関節部９４Ｆには、第３指節駆動歯車９４Ｐが設けられる。第３指節駆動歯車９４Ｐは、第３指節部９４Ｃと共に回転する。第２指節部９４Ｂには、３個のアイドラギヤ９４Ｑ、９４Ｒ、９４Ｓが設けられる。３個のアイドラギヤ９４Ｑ、９４Ｒ、９４Ｓは、第２ウォームホイール９４Ｎの回転を第３指節駆動歯車９４Ｐに伝える。アイドラギヤ９４Ｑは第２ウォームホイール９４Ｎとかみ合い、第２ウォームホイール９４Ｎが回転すると、反対方向に回転する。アイドラギヤ９４Ｒはアイドラギヤ９４Ｑとかみ合い、アイドラギヤ９４Ｑが回転すると、反対方向に回転する。アイドラギヤ９４Ｓはアイドラギヤ９４Ｒとかみ合い、アイドラギヤ９４Ｒが回転すると、反対方向に回転する。第３指節駆動歯車９４Ｐはアイドラギヤ９４Ｓとかみ合い、アイドラギヤ９４Ｓが回転すると、反対方向に回転する。アイドラギヤ９４Ｑ、９４Ｒ、９４Ｓが３個と奇数個なので、第２ウォームホイール９４Ｎが回転すると、第３指節駆動歯車９４Ｐが同じ方向に回転する。

【０１８４】

アイドラギヤ９４Ｑ、９４Ｒ、９４Ｓは、第２指関節部９４Ｂが有する第２ウォームホイール９４Ｎにより駆動される奇数個の回転軸で回転する歯車である。第３指節駆動歯車

９４Ｐは、アイドラギヤ９４Ｑ、９４Ｒ、９４Ｓにより駆動される第３指関節部９４Ｆに設けられた歯車である。第２ウォームホイール９４Ｎは、第２指関節部９４Ｂの回転と連動して回転する歯車である。

【０１８５】

第２ウォームホイール９４Ｎ、アイドラギヤ９４Ｑ、９４Ｒ、９４Ｓ、第３指節駆動歯車９４Ｐのギヤ比は、第２ウォームホイール９４Ｎの回転角度φ2と第３指節駆動歯車９４Ｐの回転角度φ3が同じになるように決めている。つまり、φ3のφ2に対する比の値ｆ＝φ3/φ2を、ｆ＝１としている。第２ウォームホイール９４Ｎすなわち第２指節部９４Ｂの回転角度φ2に対する第３指節駆動歯車９４Ｐすなわち第３指節部９４Ｃの回転角度φ3の比の値ｆ＝φ3/φ2は、１に近い適切な値であればよい。

【０１８６】

第３指関節部を第２指関節部に連動させて回転させることで、１本の指部あたり２個のモータで３個の指関節部を回転させることができる。第２関節部を曲げないで第３関節部だけを曲げるような動作をする必要がある場合はほとんどないので、手部９を使用する上で問題にはならない。なお、第３関節部も、第１関節部および第２関節部と同様にウォームギヤ機構で回転させるようにしてもよい。ある指では第３関節部を第２指関節部に連動させて回転させ、別の指では第３関節部をウォームギヤ機構で回転させるようにしてもよい。

【０１８７】

対向可能指部９７の構造を説明する。図７６に示すように、対向可能指部９７の第１指関節部９７Ｄの回転軸を保持する指元ヨーク９７Ｇは、第２指部９４とほぼ直交する方向で掌板部９２の裏面側の取付板部９８Ａに近い位置に設けられる。指元ヨーク９７Ｇの間には、指部第１モータ９７Ｈが配置される。第１指部モータ９７Ｈの回転軸に直結した第１ウォーム９７Ｊが、第１指関節部９７Ｄの回転軸の回りを回転する第１ウォームホイール９７Ｋとかみ合う。第１ウォームホイール９７Ｋは第２指節部９７Ｂに取付けられている。第１指部モータ９７Ｈが回転すると、第１ウォームホイール９７Ｋが第１指節部９７Ａと共に回転する。第１指節部９７Ａが回転すると、第１指部９３などと対向する位置に第２指節部９７Ｂおよび第３指節部９７Ｃが移動する。

【０１８８】

対向可能指部９７の第１指節部９７Ａは、第１ウォームホイール９７Ｋが回転することで第１指節部９７Ａと共に回転する第１指節元部９７Ｔ、第１指節元部９７Ｔの回転方向と約７０度の角度を有する方向を向いた第１指節先部９７Ｕとを有する。なお、第１指節先部９７Ｕが向く方向は、第１指節部９３Ａなどが向く方向と略平行である。第１指節元部９７Ｔの第１指関節部９７Ｄに接続する側とは反対側の端は平板状になっている。第１指節元部９７Ｔの平板状の部分に、第１指節先部９７Ｕが結合する。第１指節先部９７Ｕには、指部第２モータ９７Ｈが配置され、第２指関節部９３Ｅの回転軸を保持するヨーク部材が設けられる。

【０１８９】

対向可能指部９７では、第１指関節部９７Ｄが第１指節部９７Ａを回転させる方向が、第２指関節部９７Ｅが第２指節部９７Ｂを回転させる方向とは異なる。対向可能指部９７の第２指関節部９７Ｅから指先側の構造は、第１指部９３などと同様である。

【０１９０】

手部９では、指関節部を駆動するためのすべての機構が手部９の内部に設けられている。そのため、手部９だけを取外してメンテナンスや故障の修理などができる。

【０１９１】

動作を説明する。人型ロボット１００の姿勢は、胸部内関節部１６、胸腰部関節部１８、肩関節部１３、肘関節部３１、手首関節部３６、股関節部２２、膝関節部４０、足首関節部４１、首関節部２７がとる角度により決まる。これらの関節部の角度は、その関節部を駆動するリンクの長さにより決まる。人型ロボット１００の各関節部を駆動するリンクを、指定された姿勢をとることができる各関節部の角度である指定角度から決まる値にな

るようにすることで、人型ロボット１００が指定された姿勢をとることができる。人型ロボット１００が動く場合も、姿勢の変化に対応する指定角度の時系列をリンクの長さの時系列に変換して、リンクの長さを決められた時系列に応じて変化させることで、指定されたように人型ロボット１００を動かすことができる。

【０１９２】

各関節部について、その関節部が指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。なお、指定角度は、その関節部の可動範囲内であることが必要である。まず、胸部内関節部１６と胸腰部関節部１８について説明する。なお、胸腰部関節部１８は、胸下部５Ｄの腰部６に対する接続方向を変更する。胸部内関節部１６は、胸上部５Ｕの胸下部５Ｄに対する接続方向を変更する。

【０１９３】

胸部内関節部１６と胸腰部関節部１８での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により表現する。図８０は、胸部内関節部と胸腰部関節部での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【０１９４】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

P_{0s}：胸腰部関節部１８の位置。

P_{1s}：腰側中央リンク取付部Ｊ１０の位置。

P_{2s}：腰側右リンク取付部Ｊ８の位置。

P_{3s}：腰側左リンク取付部Ｊ９の位置。

P_{4s}：胸側中央リンク取付部Ｊ５の位置。

P_{4s0}：胸側中央リンク取付部Ｊ５の基準状態での位置。

P_{5s}：胸側右リンク取付部Ｊ６の位置。

P_{5s0}：胸側右リンク取付部Ｊ６の基準状態での位置。

P_{6s}：胸側左リンク取付部Ｊ７の位置。

P_{6s0}：胸側左リンク取付部Ｊ７の基準状態での位置。

P_{0As}：胸腰部関節部１８の位置を３点P_{4s}、P_{5s}、P_{6s}で決まる平面に投影した位置。

P_{7s}：胸部内関節部１６の位置。

P_{7s0}：胸部内関節部１６の基準状態での位置。

P_{8s}：下側胸部内リンク取付部Ｊ３の位置。

P_{8s0}：下側胸部内リンク取付部Ｊ３の基準状態での位置。

P_{9s}：上側胸部内リンク取付部Ｊ４の位置。

P_{9s0}：上側胸部内リンク取付部Ｊ４の基準状態での位置。

【０１９５】

各点の間隔を、以下の変数で表現する。

Ws1：線分$P_{0s}P_{1s}$、線分$P_{0s}P_{2s}$のＸ軸に投影した長さ。

Ds1：線分$P_{0s}P_{1s}$のＹ軸に投影した長さ。

Ds2：線分$P_{0s}P_{2s}$、線分$P_{0s}P_{3s}$のＹ軸に投影した長さ。

Ws2：線分$P_{0As0}P_{5s0}$、線分$P_{oAs0}P_{6s0}$のＸ軸に投影した長さ。

Ds3：線分$P_{0As}P_{4s0}$のＹ軸に投影した長さ。

Ds4：線分$P_{0As}P_{5s0}$、線分$P_{0As}P_{6s0}$のＹ軸に投影した長さ。

Ds5：線分$P_{7s0}P_{8s0}$、線分$P_{7s0}P_{9s0}$のＹ軸に投影した長さ。

Hs1：線分$P_{0s}P_{7s}$の長さ。３点P_{4s}、P_{5s}、P_{6s}で決まる平面と点P_{0s}の距離。

Hs2：線分$P_{0s}P_{1s}$、線分$P_{0s}P_{2s}$、線分$P_{0s}P_{3s}$のＺ軸に投影した長さ。

Hs3：線分$P_{7s0}P_{8s0}$のＺ軸に投影した長さ。

Hs4：線分$P_{7s0}P_{9s0}$のＺ軸に投影した長さ。

【０１９６】

上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、胸腰部関節部１８の位置P_{0s}を、座標の原点とする。

P_{0s}＝(０,０,０)
P_{1s}＝(０, Ds1, -Hs2)
P_{2s}＝(Ws1, Ds2, -Hs2)
P_{3s}＝(-Ws1, Ds2, -Hs2)
P_{4s0}＝(０, Ds3, Hs1)
P_{5s0}＝(Ws2, -Ds4, Hs1)
P_{6s0}＝(-Ws2, -Ds4, Hs1)
P_{7s0}＝(０,０, Hs1)
P_{8s0}＝(０, -Ds5, Hs1-Hs3)
P_{9s0}＝(０, -Ds5, Hs1+Hs3)　　10

【０１９７】
胸腰部関節部１８および胸部内関節部１６の回転角度を、以下の変数で表現する。
α_s：胸腰部関節部１８のＸ軸回りの回転角。基準状態でα_s＝０
β_s：胸腰部関節部１８のＹ軸回りの回転角。基準状態でβ_s＝０
γ_s：胸腰部関節部１８のＺ軸回りの回転角。基準状態でγ_s＝０
[Rs]：胸腰部関節部１８の回転行列。
ψ：胸部内関節部１６のＸ軸回りの回転角。基準状態でψ＝０
[Rs2]：胸部内関節部１６の回転行列。

【０１９８】
胸腰部関節部１８の回転行列[Rs]は、以下のようになる。　　20

【０１９９】
【数１】

$$[Rs]=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\alpha s & -\sin\alpha s\\ 0 & \sin\alpha s & \cos\alpha s\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\beta s & 0 & -\sin\beta s\\ 0 & 1 & 0\\ \sin\beta s & 0 & \cos\beta s\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\gamma s & -\sin\gamma s & 0\\ \sin\gamma s & \cos\gamma s & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

【０２００】
胸部内関節部１６の回転行列[Rs2]は、以下のようになる。

【０２０１】　　30
【数２】

$$[Rs2]=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi\\ 0 & \sin\psi & \cos\psi\end{pmatrix}$$

【０２０２】
胸下部５Ｄに存在する任意の点P_Dの基準状態での位置を点P_{D0}とすると、胸腰部関節部１８での回転後の点P_Dの位置は、以下のように表現できる。
P_D＝[Rs]*P_{D0}　　40

【０２０３】
胸上部５Ｕに存在する任意の点P_Uの基準状態での位置を点P_{U0}とすると、胸部内関節部１６および胸腰部関節部１８での回転後の点P_Uの位置は、以下のように表現できる。
P_U＝[Rs]*([Rs2]*(P_{U0}-P_{7s0})+P_{7s0})

【０２０４】
リンクの長さを、以下の変数で表現する。
L_{1s}：胸腰部中央リンク１９Ｌの長さ。線分$P_{1s}P_{4s}$の長さ。
L_{2s}：胸腰部右リンク２０Ｌの長さ。線分$P_{2s}P_{4s}$の長さ。
L_{3s}：胸腰部左リンク２１Ｌの長さ。線分$P_{3s}P_{6s}$の長さ。
L_{1s0}：基準状態での胸腰部中央リンク１９Ｌの長さ。線分$P_{1s}P_{4s0}$の長さ。　　50

L_{2s0}：基準状態での胸腰部右リンク２０Ｌの長さ。線分$P_{2s}P_{5s0}$の長さ。
L_{3s0}：基準状態での胸腰部左リンク２１Ｌの長さ。線分$P_{3s}P_{6s0}$の長さ。
L_{4s}：胸部内リンク１７Ｌの長さ。線分$P_{8s}P_{9s}$の長さ。

【０２０５】
まず、基準状態で、胸部内関節部１６を指定された角度ψにするための胸部内リンク１７Ｌの長さL_{4s}の求め方を説明する。胸上部５Ｕに存在する上側胸部内リンク取付部Ｊ４の位置P_{9s}は、以下のようになる。

$$P_{9s}=(x9s, y9s, z9s)$$
$$=[Rs2]*(0, -Ds5, Hs4)^t+(0, 0, Hs1)$$

変数ごとに表現すると、以下となる。

$$x9s=0$$
$$y9s=-Ds5*\cos\psi-Hs4*\sin\psi$$
$$z9s=-Ds5*\sin\psi+Hs4*\cos\psi+Hs1$$

【０２０６】
胸下部５Ｄに存在する下側胸部内リンク取付部Ｊ３の位置P_{8s}は、胸部内関節部１６での回転では変化しない。そのため、位置P_{8s}は、基準状態での位置P_{8s0}である。胸部内リンク１７Ｌの長さL_{4s}は、以下で計算できる。

$$L_{4s}=\sqrt{((Ds5*(1-\cos\psi)-Hs4*\sin\psi)^2+(-Ds5*\sin\psi+Hs4*\cos\psi+Hs3)^2)}$$

【０２０７】
胸下部５Ｄに存在する３点の位置P_{4s}、P_{5s}、P_{8s}は、胸腰部関節部１８での回転により、以下のようになる。

$$P_{4s}=(x4s, y4s, z4s)$$
$$=[Rs]*P_{4s0}=[Rs]*(0, Ds3, Hs1)^t$$
$$P_{5s}=(x5s, y5s, z5s)$$
$$=[Rs]*P_{5s0}=[Rs]*(Ws2, -Ds4, Hs1)^t$$
$$P_{6s}=(x6s, y6s, z6s)$$
$$=[Rs]*P_{6s0}=[Rs]*(-Ws2, -Ds4, Hs1)^t$$

【０２０８】
P_{4s}、P_{5s}、P_{6s}が求められたので、リンクの長さL_{1s}、L_{2s}、L_{3s}は以下の式で計算できる。

$$L_{1s}=\sqrt{(x4s^2+(y4s-Ds1)^2+(z4s+Hs2)^2)}$$
$$L_{2s}=\sqrt{((x5s-Ws1)^2+(y5s-Ds2)^2+(z5s+Hs2)^2)}$$
$$L_{3s}=\sqrt{((x6s+Ws1)^2+(y6s-Ds2)^2+(z5s+Hs2)^2)}$$
$$L_{1s0}=\sqrt{((Ds3-Ds1)^2+(Hs1+Hs2)^2)}$$
$$L_{2s0}=\sqrt{((Ws2-Ws1)^2+(Ds2+Ds4)^2+(Hs1+Hs2)^2)}$$
$$L_{3s0}=\sqrt{((Ws2-Ws1)^2+(Ds2+Ds4)^2+(Hs1+Hs2)^2)}$$

【０２０９】
基準状態からＺ軸回りに微小に回転させた場合に、各リンクの長さがどのように変化するかを考察する。P_{4s}、P_{5s}、P_{6s}は以下のようになる。ここで、γsが微小として、sinγs　γs、cosγs　１で近似する。

$$P_{4s}=(x4s, y4s, z4s)$$
$$=(-Ds3*\sin\gamma s, Ds3*\cos\gamma s, Hs1)$$
$$(-Ds3*\gamma s, Ds3, Hs1)$$
$$P_{5s}=(x5s, y5s, z5s)$$
$$=(Ws2*\cos\gamma s+Ds4*\sin\gamma s, Ws2*\sin\gamma s-Ds4*\cos\gamma s, Hs1)$$
$$(Ws2+Ds4*\gamma s, Ws2*\gamma s-Ds3, Hs1)$$
$$P_{6s}=(x6s, y6s, z6s)$$
$$=(-Ws2*\cos\gamma s+Ds4*\sin\gamma s,$$

-Ws2*sinγs-Ds4*cosγs,Hs1)
(-Ws2-Ds4*γs, -Ws2*γs-Ds4, Hs1)

【０２１０】

リンクの長さを計算すると、以下のようになる。

$L_{1s}=\sqrt{((Ds3*\gamma s)^2+(Ds3-Ds1)^2+(Hs1+Hs2)^2)}$

$L_{2s}=\sqrt{((Ws2-Ws1-Ds4*\gamma s)^2+(Ds2+Ds4-Ws2*\gamma s)^2+(Hs1+Hs2)^2)}$

$L_{3s}=\sqrt{((Ws2-Ws1+Ds4*\gamma s)^2+(Ds2+Ds4+Ws2*\gamma s)^2+(Hs1+Hs2)^2)}$

10

【０２１１】

基準状態でのリンクの長さとの差を求めると、以下のようになる。ここで、γs＞０とする。

$L_{1s}^2-L_{1s0}^2=(Ds2*\gamma s)^2>0$

$L_{2s}^2-L_{2s0}^2=(Ws2-Ws1-Ds4*\gamma s)^2-(Ws2-Ws1)^2+(Ds2+Ds4-Ws2*\gamma s)^2-(Ds2+Ds4)^2<0$

$L_{3s}^2-L_{3s0}^2=(Ws2-Ws1+Ds4*\gamma s)^2-(Ws2-Ws1)^2+(Ds2+Ds4+Ws2*\gamma s)^2-(Ds2+Ds4)^2>0$

【０２１２】

基準状態では、胸腰部右リンク２０Ｌの長さL_{2s}、胸腰部左リンク２１Ｌの長さL_{3s}のどちらか一方が長くなり、他方が短くなることが分る。したがって、捻り軸の回りに回転する際に、伸びるリンクにより押される力と、短くなるリンクにより引かれる力の両方が発生して、捻り軸の回りに回転しやすくなる。

20

【０２１３】

肩関節部１３に関して、指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。肩関節部１３での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図８１は、肩関節部１３での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。なお、Q_{1t}とQ_{2t}は、図８２に示す。

【０２１４】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

30

P_{0t}：肩関節部１３の位置。
P_{1t}：胸部側主リンク取付部Ｊ１の位置。
P_{2t}：胸部側補助リンク取付部Ｊ２の位置。
Q_{1t}：上腕部側主リンク取付部Ｊ２０の位置。$Q_{1t}=(x1t,y1t,z1t)$
Q_{1t0}：上腕部側主リンク取付部Ｊ２０の基準状態での位置。
Q_{2t}：主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１の位置。$Q_{2t}=(x2t,y2t,z2t)$
Q_{2t0}：主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１の基準状態での位置。

【０２１５】

各点の間隔を、以下の変数で表現する。なお、K_{1t}とK_{2t}は、図８２に示す。

Wt1：線分$P_{0t}P_{1t}$、線分$P_{0t}P_{2t}$のＸ軸に投影した長さ。
Dt1：線分$P_{0t}P_{1t}$のＹ軸に投影した長さ。

40

Dt2：線分$P_{0t}P_{2t}$のＹ軸に投影した長さ。
Ht1：線分$P_{0t}P_{1t}$、線分$P_{0t}P_{2t}$のＺ軸に投影した長さ。
K_{1t}：線分$P_{0t}Q_{1t}$の長さ。
K_{2t}：線分$Q_{1t}Q_{2t}$の長さ。

【０２１６】

上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、肩関節部１３の位置P_{0t}を、座標の原点とする。

$P_{0t}=(0,0,0)$

$P_{1t}=(-Wt1,-Dt1,-Ht1)$

$P_{2t}=(-Wt1,Dt2,-Ht1)$

50

Q_{1t0}＝(０,０,-K_{1t})

【０２１７】

肩関節部１３の回転角度を、以下の変数で表現する。

α_t：肩関節部１３のＸ軸回りの回転角。基準状態でα_t＝０

β_t：肩関節部１３のＹ軸回りの回転角。基準状態でβ_t＝０

[Ｒt]：肩関節部１３の回転行列。

【０２１８】

回転行列[Ｒt]は、以下のようになる。

【０２１９】

【数３】

$$[Rt]=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\alpha t & -\sin\alpha t\\ 0 & \sin\alpha t & \cos\alpha t\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\beta t & 0 & -\sin\beta t\\ 0 & 1 & 0\\ \sin\beta t & 0 & \cos\beta t\end{pmatrix}$$

10

【０２２０】

リンクの長さを、以下の変数で表現する。

L_{1t}：上腕部駆動主リンク１４Ｌの長さ。線分$P_{1t}Q_{1t}$の長さ。

L_{2t}：上腕部駆動補助リンク１５Ｌの長さ。線分$P_{2t}Q_{2t}$の長さ。

【０２２１】

20

肩関節部１３では、主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１が上腕部駆動主リンク１４Ｌ上にあるので、主リンク側補助リンク取付部Ｊ２１の位置Q_{2t}は、以下を満足する必要がある。

$Q_{2t}=(K_{2t}/L_{1t})*P_{1t}+(1-K_{2t}/L_{1t})*Q_{1t}$

また、リンク取付部の間隔に関して、以下の制約条件が成立する必要がある。

$\sqrt{(x1t^2+y1t^2+z1t^2)}=K_{1t}$

【０２２２】

肩関節部１３の角度行列[Ｒt]を用いて、上腕部側主リンク取付部Ｊ２０の位置Q_{1t}を以下のようにして求める。

$Q_{1t}=[Rt]*Q_{1t0}$

30

この式を変数ごとに表現すると、以下のようになる。

$x1t=K_{1t}*\cos\alpha_t*\sin\beta_t$

$y1t=-K_{1t}*\sin\alpha_t$

$z1t=-K_{1t}*\cos\alpha_t*\cos\beta_t$

【０２２３】

位置Q_{1t}が求められると、以下の式でL_{1t}が計算できる。

$L_{1t}=\sqrt{((x1t+Wt1)^2+(y1t+Dt1)^2+(z1t+Ht1)^2)}$

【０２２４】

位置Q_{2t}に関する制約式を変数ごとに表現すると、以下のようになる。

$x2t=x1t-(x1t+Wt1)*(K_{1t}/L_{1t})$

40

$y2t=y1t-(y1t+Dt1)*(K_{1t}/L_{1t})$

$z2t=z1t-(z1t+Ht1)*(K_{1t}/L_{1t})$

【０２２５】

位置Q_{2t}が求められると、以下の式でL_{2t}が計算できる。

$L_{2t}=\sqrt{((x2t+Wt1)^2+(y2t-Dt2)^2+(z2t+Ht1)^2)}$

【０２２６】

肘関節部３１に関して、指定角度をとることができるような上腕部でのリンク取付位置の決め方を説明する。肘関節部３１での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図８２は、肘関節部３１での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

50

【０２２７】
まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。
P_{0u}：肘関節部３１の位置。
P_{1u}：上腕部外側リンク取付部Ｊ２２の位置。
P_{1u0}：上腕部外側リンク取付部Ｊ２２の基準状態での位置。
P_{2u}：上腕部内側リンク取付部Ｊ２３の位置。
P_{2u0}：上腕部内側リンク取付部Ｊ２３の基準状態での位置。
P_{3u}：肘部駆動外側リンク取付部Ｊ２５の位置。$P_{3u}=(x3u,y3u,z3u)$
P_{3u0}：肘部駆動外側リンク取付部Ｊ２５の基準状態での位置。
P_{4u}：肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４の位置。$P_{4u}=(x4u,y4u,z4u)$
P_{4u0}：肘部駆動内側リンク取付部Ｊ２４の基準状態での位置。

【０２２８】
各点の間隔を、以下の変数で表現する。
Wu1：線分$P_{0u}P_{1u}$のＸ軸に投影した長さ。
Wu2：線分$P_{0u}P_{2u}$のＸ軸に投影した長さ。
Du1：線分$P_{0u}P_{1u}$、線分$P_{0u}P_{2u}$のＹ軸に投影した長さ。
Hu1：線分$P_{0u}P_{1u0}$、線分$P_{0u}P_{2u0}$のＺ軸に投影した長さ。
K_{1u}：線分$P_{0u}P_{4u0}$のＺ軸に投影した長さ。
L_{1u0}：線分$P_{1u}P_{3u}$の長さ。肘部駆動外側リンク３２の長さ。
L_{2u0}：線分$P_{2u}P_{4u}$の長さ。肘部駆動内側リンク３３の長さ。
K_{2u}：線分$P_{3u}P_{4u}$の長さ。

【０２２９】
上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、肘関節部３１の位置P_{0u}を、座標の原点とする。
$P_{0u}=(0,0,0)$
$P_{1u0}=(Wu1,Du1,Hu1)$
$P_{2u0}=(-Wu2,Du1,Hu1)$
$P_{4u0}=(0,Du1,-K_{1u})$

【０２３０】
上腕部外側アクチュエータ３４と上腕部内側アクチュエータ３５は、上腕部９（Ｚ軸）に平行に設けられている。上腕部外側アクチュエータ３４、上腕部内側アクチュエータ３５によりそれぞれ移動される上腕部外側リンク取付部Ｊ２２、上腕部内側リンク取付部Ｊ２３の位置P_{1u}、P_{2u}はＺ軸に平行な方向に移動する。つまり、P_{1u}、P_{2u}は、以下のように表現できる。
$P_{1u}=(Wu1,Du1,z1u)$
$P_{2u}=(-Wu2,Du1,z2u)$

【０２３１】
肘部駆動外側リンク３２は肘部駆動内側リンク３３に取付けられているので、P_{2u}、P_{3u}、P_{4u}は、同一直線上に存在することになる。したがって、以下が成立する。
$P_{3u}=(K_{2u}/L_{2u0})*P_{2u}+(1-K_{2u}/L_{2u0})*P_{4u}$

【０２３２】
基準状態でこの式を適用することで、P_{3u0}は以下のようになる。
$P_{3u0}=(-(K_{2u}/L_{2u0})*Wu1,Du1,-(K_{2u}/L_{2u0})*(Hu1+K_{1u})-K_{1u})$

【０２３３】
固定長である肘部駆動外側リンク３２、肘部駆動内側リンク３３の長さは、以下のようになる。
$L_{2u0}=\surd(Wu2^{2}+(Hu1+K_{1u})^{2})$
$L_{1u0}=\surd(Wu1^{2}+(Hu1+K_{1u})^{2}$
$+K_{2u}*(K_{2u}-Hu1-K_{1u}+Wu1)/(Wu1^{2}+(Hu1+K_{1u})^{2}))$

【０２３４】

肘関節部３１の回転角度を、以下の変数で表現する。

α_u：肘関節部３１のＸ軸回りの回転角。基準状態で$\alpha_u = 0$

γ_u：肘関節部３１のＺ軸回りの回転角。基準状態で$\gamma_u = 0$

[Ru]：肘関節部３１の回転行列。

【０２３５】

回転行列[Ru]は、以下のようになる。

【０２３６】

【数４】

$$[Ru] = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha u & -\sin\alpha u \\ 0 & \sin\alpha u & \cos\alpha u \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\gamma u & -\sin\gamma u & 0 \\ \sin\gamma u & \cos\gamma u & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

10

【０２３７】

[Ru]が与えられると、以下の式で、P_{4u}を求める。

$P_{4u} = (x4u, y4u, z4u) = [Ru]*P_{4u0}$

$= [Ru]*(0, Du1, -K_{1u})^t$

【０２３８】

L_{2u0}が一定であることから、以下の式で、P_{4u}からz2uを求める。

$L_{2u}{}^2 = (x4u+Wu2)^2 + (y4u-Du1)^2 + (z4u-z2u)^2 = L_{2u0}{}^2$

20

$z2u = z4u + \sqrt{(L_{2u0}{}^2 - (x4u+Wu2)^2 - (y4u-Du1)^2)}$

【０２３９】

P_{2u}、P_{3u}、P_{4u}が同一直線上に存在することを表す制約式を適用して、P_{2u}とP_{4u}からP_{3u}を求める。変数ごとに表現すると、以下のようになる。

$x3u = x4u - (Wu1+x4u)*(K_{2u}/L_{2u0})$

$y3u = y4u + (Du1-y4u)*(K_{2u}/L_{2u0})$

$z3u = z4u + (z2u-z4u)*(K_{2u}/L_{2u0})$

【０２４０】

L_{1u0}が一定であることから、以下の式で、P_{3u}からz1uを求める。

$L_{1u}{}^2 = (x3u-Wu1)^2 + (y3u-Du1)^2 + (z3u-z1u)^2 = L_{1u0}{}^2$

30

$z1u = z3u + \sqrt{(L_{1u0}{}^2 - (x3u-Wu1)^2 - (y3u-Du1)^2)}$

【０２４１】

手首関節部３６に関して、指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。手首関節部３６での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図８３は、手首関節部３６での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【０２４２】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

P_{0v}：手首関節部３６の位置。

P_{1v}：前腕部正面リンク取付部Ｊ２６の位置。

40

P_{2v}：前腕部外側リンク取付部Ｊ２７の位置。

P_{3v}：前腕部内側リンク取付部Ｊ２８の位置。

P_{4v}：手部側正面リンク取付部Ｊ２９の位置。

P_{4v0}：手部側正面リンク取付部Ｊ２９の基準状態での位置。

P_{5v}：手部側外側リンク取付部Ｊ３０の位置。

P_{5v0}：手部側外側リンク取付部Ｊ３０の基準状態での位置。

P_{6v}：手部側内側リンク取付部Ｊ３１の位置。

P_{6v0}：手部側内側リンク取付部Ｊ３１の基準状態での位置。

ここで、P_{0v}、P_{4v}、P_{5v}およびP_{6v}は、同一平面上にある。

【０２４３】

50

各点の間隔を、以下の変数で表現する。

Wv1：線分$P_{0v}P_{1v}$、線分$P_{0v}P_{2v}$のＸ軸に投影した長さ。

Dv1：線分$P_{0v}P_{1v}$のＹ軸に投影した長さ。

Hv1：線分$P_{0v}P_{2v}$の長さ。

Dv2：線分$P_{0v}P_{4v}$の長さ。

【０２４４】

上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、胸腰手首関節部３６の位置P_{0v}を、座標の原点とする。

P_{0v}＝(０,０,０)

P_{1v}＝(０,Dv1,-Hv1)

P_{2v}＝(Wv1,０,-Hv1)

P_{3v}＝(-Wv1,０,-Hv1)

P_{4v0}＝(０,Dv2,０)

P_{5v0}＝(Dv2*cos(π/6),-Dv2*sin(π/6),０)

P_{6v0}＝(-Dv2*cos(π/6),-Dv2*sin(π/6),０)

【０２４５】

手首関節部３６の回転角度を、以下の変数で表現する。

α_v：手首関節部３６のＸ軸回りの回転角。基準状態でα_v＝０

β_v：手首関節部３６のＹ軸回りの回転角。基準状態でβ_v＝０

γ_v：手首関節部３６のＺ軸回りの回転角。基準状態でγ_v＝０

[Rv]：手首関節部３６の回転行列。

【０２４６】

回転行列[Rv]は、以下のようになる。

【０２４７】

【数５】

$$[Rv]=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\alpha v & -\sin\alpha v\\ 0 & \sin\alpha v & \cos\alpha v\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\beta v & 0 & -\sin\beta v\\ 0 & 1 & 0\\ \sin\beta v & 0 & \cos\beta v\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\gamma v & -\sin\gamma v & 0\\ \sin\gamma v & \cos\gamma v & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

【０２４８】

リンクの長さを、以下の変数で表現する。

L_{1v}：前腕部正面リンク３７Ｌの長さ。線分$P_{1v}P_{4v}$の長さ。

L_{2v}：前腕部外側リンク３８Ｌの長さ。線分$P_{2v}P_{4v}$の長さ。

L_{3v}：前腕部内側リンク３９Ｌの長さ。線分$P_{3v}P_{6v}$の長さ。

L_{1v0}：基準状態での前腕部正面リンク３７Ｌの長さ。線分$P_{1v}P_{4v0}$の長さ。

L_{2v0}：基準状態での前腕部外側リンク３８Ｌの長さ。線分$P_{2v}P_{5v0}$の長さ。

L_{3v0}：基準状態での前腕部内側リンク３９Ｌの長さ。線分$P_{3v}P_{6v0}$の長さ。

【０２４９】

[Rv]が与えられて、以下の式で、P_{4v}、P_{5v}、P_{6v}を求める。

P_{4v}＝(x4v,y4v,z4v)

＝[Rv]*(０,Dv2,０)^t

P_{5v}＝(x5v,y5v,z5v)

＝[Rv]*(Dv2*cos(π/6),-Dv2*sin(π/6),０)^t

P_{6v}＝(x6v,y6v,z6v)

＝[Rv]*(-Dv2*cos(π/6),-Dv2*sin(π/6),０)^t

【０２５０】

P_{4v}、P_{5v}、P_{6v}が求められたので、リンクの長さL_{1v}、L_{2v}、L_{3v}は以下の式で計算できる。

L_{1v}＝√(x4v^2+(Dv1-y4v)^2+(Hv1+z4v)^2)

$$L_{2v} = \sqrt{((Wv1\text{-}x5v)^2 + y5v^2 + (Hv1+z5v)^2)}$$
$$L_{3v} = \sqrt{((Wv1+x6v)^2 + y6v^2 + (Hv1+z6v)^2)}$$
$$L_{1v0} = \sqrt{((Dv1\text{-}Dv2)^2 + Hv1^2)}$$
$$L_{2v0} = \sqrt{((Wv1\text{-}Dv2*\cos(\pi/6))^2 + (Dv2*\sin(\pi/6))^2 + Hv1^2)}$$
$$L_{3v0} = \sqrt{((Wv1\text{-}Dv2*\cos(\pi/6))^2 + (Dv2*\sin(\pi/6))^2 + Hv1^2)}$$

【０２５１】

基準状態からＺ軸回りに微小に回転させた場合に、各リンクの長さがどのように変化するかを考察する。P_{4v}、P_{5v}、P_{6v}は以下のようになる。ここで、γvが微小として、$\sin\gamma v$ γv、$\cos\gamma v$ １で近似する。

$$P_{4v} = (x4v, y4v, z4v)$$
$$= (\text{-}Dv2*\sin\gamma v, Dv2*\cos\gamma v, 0)$$
$$(\text{-}Dv2*\gamma v, Dv2, 0)$$
$$P_{5v} = (x5v, y5v, z5v)$$
$$= (Dv2*\cos(\pi/6\text{-}\gamma v), Dv2*\sin(\pi/6\text{-}\gamma v), 0)$$
$$(Dv2*\cos(\pi/6)+Dv2*\sin(\pi/6)*\gamma v,$$
$$Dv2*\cos(\pi/6)*\gamma v\text{-}Dv2*\sin(\pi/6), 0)$$
$$P_{6v} = (x6v, y6v, z6v)$$
$$= (\text{-}Dv2*\cos(\pi/6+\gamma v), \text{-}Dv2*\sin(\pi/6+\gamma v), 0)$$
$$(\text{-}Dv2*\cos(\pi/6)+Dv2*\sin(\pi/6)*\gamma v,$$
$$\text{-}Dv2*\cos(\pi/6)*\gamma v\text{-}Dv2*\sin(\pi/6), 0)$$

【０２５２】

リンクの長さを計算すると、以下のようになる。

$$L_{1v} = \sqrt{((Dv2*\gamma v)^2 + (Dv1\text{-}Dv2)^2 + Hv1^2)}$$
$$L_{2v} = \sqrt{((Wv1\text{-}Dv2*\cos(\pi/6)\text{-}Dv2*\sin(\pi/6)*\gamma v)^2 + (Dv2*\cos(\pi/6)*\gamma v\text{-}Dv2*\sin(\pi/6))^2 + Hv1^2)}$$
$$L_{3v} = \sqrt{((Wv1\text{-}Dv2*\cos(\pi/6)+\sin(\pi/6)*\gamma v)^2 + (Dv2*\cos(\pi/6)*\gamma v+Dv2*\sin(\pi/6))^2 + Hv1^2)}$$

【０２５３】

基準状態でのリンクの長さとの差を求めると、以下のようになる。ここで、$\gamma v > 0$とする。

$$L_{1v}{}^2 \text{-} L_{1v0}{}^2 = (Dv2*\gamma v)^2 > 0$$
$$L_{2v}{}^2 \text{-} L_{2v0}{}^2 = (Wv1\text{-}Dv2*\cos(\pi/6)\text{-}Dv2*\sin(\pi/6)*\gamma v)^2$$
$$\text{-}(Wv1\text{-}Dv2*\cos(\pi/6))^2$$
$$+(Dv2*\sin(\pi/6)\text{-}Dv2*\cos(\pi/6)*\gamma v)^2$$
$$\text{-}(Dv2*\sin(\pi/6))^2 < 0$$
$$L_{3v}{}^2 \text{-} L_{3v0}{}^2 = (Wv1\text{-}Dv2*\cos(\pi/6)+Dv2*\sin(\pi/6)*\gamma v)^2$$
$$\text{-}(Wv1\text{-}Dv2*\cos(\pi/6))^2$$
$$+(Dv2*\sin(\pi/6)+Dv2*\cos(\pi/6)*\gamma v)^2$$
$$\text{-}(Dv2*\sin(\pi/6))^2 > 0$$

【０２５４】

基準状態では、前腕部外側リンク３８Ｌの長さL_{2v}、前腕部内側リンク３９Ｌの長さL_{3v}のどちらか一方が長くなり、他方が短くなることが分る。したがって、捻り軸である前腕部８の回りに回転する際に、伸びるリンクにより押される力と、短くなるリンクにより引かれる力の両方が発生して、捻り軸の回りに回転しやすくなる。

【０２５５】

首関節部２７も、手首関節部３６と同様に、３本の可変長リンクの長さを変更することにより３回転自由度で接続角度を変更する。首関節部２７でも、手首関節部３６と同様な方法で、決められた接続角度になるような３本の可変長リンクの長さを決めることができる。

【０２５６】

足首関節部４１に関して、指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。足首関節部４１での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図８４は、足首関節部４１での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。

【０２５７】

まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。

P_{0m}：足首関節部４１の位置。

P_{1m}：足部外側リンク取付部Ｊ４１の位置。

P_{2m}：足部内側リンク取付部Ｊ４２の位置。

P_{3m}：下腿部外側リンク取付部Ｊ３９の位置。

P_{3m0}：下腿部外側リンク取付部Ｊ３９の基準状態での位置。

P_{4m}：下腿部内側リンク取付部Ｊ４０の位置。

P_{4m0}：下腿部内側リンク取付部Ｊ４０の基準状態での位置。

【０２５８】

各点の間隔を、以下の変数で表現する。

Wm1：線分$P_{0m}P_{1m}$、線分$P_{0m}P_{2m}$のＸ軸に投影した長さ。

Wm2：線分$P_{0m}P_{3m0}$、線分$P_{0m}P_{4m0}$のＸ軸に投影した長さ。

Dm1：線分$P_{0m}P_{1m}$、線分$P_{0m}P_{2m}$のＹ軸に投影した長さ。

Dm2：線分$P_{0m}P_{3m0}$、線分$P_{0m}P_{4m0}$のＹ軸に投影した長さ。

Hm1：線分$P_{0m}P_{1m}$、線分$P_{0m}P_{2m}$のＺ軸に投影した長さ。

Hm2：線分$P_{0m}P_{3m0}$、線分$P_{0m}P_{4m0}$のＺ軸に投影した長さ。

Dm1：線分$P_{0m}P_{1m}$のＹ軸に投影した長さ。

【０２５９】

上で定義した変数を使用することにより、各点の座標は以下のように表される。ここで、足首関節部４１の位置P_{0m}を、座標の原点とする。

$P_{0m}=(0, 0, 0)$

$P_{1m}=(Wm1, Dm1, -Hm1)$

$P_{2m}=(-Wm1, Dm1, -Hm1)$

$P_{3m0}=(Wm2, -Dm2, Hm2)$

$P_{4m0}=(-Wm2, -Dm2, Hm2)$

【０２６０】

足首関節部４１の回転角度を、以下の変数で表現する。

α_m：足首関節部４１のＸ軸回りの回転角。基準状態で$\alpha_m=0$

β_m：足首関節部４１のＹ軸回りの回転角。基準状態で$\beta_m=0$

[Rm]：足首関節部４１の回転行列。

【０２６１】

回転行列[Rm]は、以下のようになる。

【０２６２】

【数６】

$$[Rm]=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos\alpha m & -\sin\alpha m\\ 0 & \sin\alpha m & \cos\alpha m\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\beta m & 0 & -\sin\beta m\\ 0 & 1 & 0\\ \sin\beta m & 0 & \cos\beta m\end{pmatrix}$$

【０２６３】

リンクの長さを、以下の変数で表現する。

L_{1m}：下腿部外側リンク４５Ｌの長さ。線分$P_{1m}P_{3m}$の長さ。

L_{2m}：下腿部内側リンク４６Ｌの長さ。線分$P_{2m}P_{4m}$の長さ。

【０２６４】

[Rm]が与えられて、以下の式で、P_{3m}、P_{4m}を求める。

P_{3m}＝(x3m,y3m,z3m)＝[Rm]*(Wm2,-Dm2,Hm2)^t
P_{4m}＝(x4m,y4m,z4m)＝[Rm]*(-Wm2,-Dm2,Hm2)^t
【０２６５】
P_{3m}、P_{4m}が求められたので、リンクの長さL_{1m}、L_{2m}は以下の式で計算できる。
L_{1m}＝√((x3m-Wm1)^2+(y3m-Dm1)^2+(z3m+Hm1)^2)
L_{2m}＝√((x4m+Wm1)^2+(y4m-Dm1)^2+(z4m+Hm2)^2)
【０２６６】
股関節部２２に関して、指定角度をとることができるようなリンクの長さの決め方を説明する。股関節部２２での関節部およびリンク取付部の間隔を、以下の変数により定義する。図８５は、股関節部２２での関節部およびリンク取付部の間隔を表現する変数を説明する図である。
【０２６７】
まず、各点の位置を表す変数を以下のように定義する。
P_{0q}：股関節部２２の位置。
P_{1q}：股部正面リンク取付部Ｊ１１の位置。
P_{1q0}：股部正面リンク取付部Ｊ１１の基準状態での位置。
P_{2q}：股部外側リンク取付部Ｊ１２の位置。
P_{2q0}：股部外側リンク取付部Ｊ１２の基準状態での位置。
P_{3q}：股部内側リンク取付部Ｊ１３の位置。
P_{3q0}：股部内側リンク取付部Ｊ１３の基準状態での位置。
P_{4q}：膝部正面リンク取付部Ｊ３２の位置。
P_{5q}：膝部外側リンク取付部Ｊ３３の位置。
P_{6q}：膝部内側リンク取付部Ｊ３４の位置。
【０２６８】
各点の間隔を以下の変数で定義する。なお座標系として、互いに直交するＵ軸、Ｖ軸およびＷ軸を使用する。ＵＶＷ座標系は、大腿骨部１０Ａと共に移動する座標系である。Ｗ軸を、大腿骨部１０Ａが延在する方向とする。Ｕ軸を、基準状態でＸ軸と一致する軸とする。
Wq2：線分$P_{0q}P_{2q0}$をＵ軸に投影した長さ。
Wq3：線分$P_{0q}P_{3q0}$をＵ軸に投影した長さ。
Dq1：線分$P_{0q}P_{1q0}$をＶ軸に投影した長さ。
Dq2：線分$P_{0q}P_{2q0}$をＶ軸に投影した長さ。
Dq3：線分$P_{0q}P_{3q0}$をＶ軸に投影した長さ。
Dq4：線分$P_{0q}P_{4q}$をＶ軸に投影した長さ。
Hq1：線分$P_{0q}P_{1q0}$をＷ軸に投影した長さ。
Hq2：線分$P_{0q}P_{2q0}$をＷ軸に投影した長さ。
Hq3：線分$P_{0q}P_{3q0}$をＷ軸に投影した長さ。
Hq4：線分$P_{0q}P_{4q0}$、線分$P_{0q}P_{5q0}$、線分$P_{0q}P_{6q0}$をＷ軸に投影した長さ。
【０２６９】
上で定義した変数を使用することにより、基準状態での各点の座標はＵＶＷ座標系では、以下のように表される。股関節部２２の位置を座標の原点とする。
P_{0q}＝(０,０,０)
P_{1q0}＝(０,-Dq1,Hq1)
P_{2q0}＝(Wq2,Dq2,-Hq2)
P_{3q0}＝(-Wq3,Dq3,-Hq3)
P_{4q}＝(０,-Dq3,-Hq4)
P_{5q}＝(Dq4*cos(π/6),Dq4*sin(π/6),-Hq4)
P_{6q}＝(-Dq4*cos(π/6),Dq4*sin(π/6),-Hq4)
【０２７０】

10

20

30

40

50

リンクの長さを以下の変数で表現する。

L_{1q}：大腿部正面リンク２３Ｌの長さ。線分$P_{1q}P_{4q}$の長さ。

L_{2q}：大腿部外側リンク２４Ｌの長さ。線分$P_{2q}P_{5q}$の長さ。

L_{3q}：大腿部内側リンク２５Ｌの長さ。線分$P_{3q}P_{6q}$の長さ。

L_{1q0}：基準状態での大腿部正面リンク２３Ｌの長さ。線分$P_{1q0}P_{4q}$の長さ。

L_{2q0}：基準状態での大腿部外側リンク２４Ｌの長さ。線分$P_{2q0}P_{5q}$の長さ。

L_{3q0}：基準状態での大腿部内側リンク２５Ｌの長さ。線分$P_{3q0}P_{6q}$の長さ。

【０２７１】

股関節部２２の回転角度を、以下の変数で定義する。

αq：股関節部２２のＸ軸回りの回転角。基準状態でαq＝αq0。

βq：股関節部２２のＹ軸回りの回転角。基準状態でβq＝０。

γq：股関節部２２のＹ軸回りの回転角。基準状態でγq＝０。

［Rq］：股関節部２２のＵＶＷ座標系での回転行列。

【０２７２】

大腿骨部１０Ａが延在する方向がＸＹＺ座標系で基準状態(αq0,０,０)から(αq,βq,γq)に回転する場合には、ＸＹＺ座標系で固定された点は、ＵＶＷ座標系では(αq0-αq,-βq,-γq)だけ回転することになる。したがって、回転行列Rqは以下のようになる。

【０２７３】

【数７】

$$[Rq]=\begin{pmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & \cos(\alpha q-\alpha q0) & \sin(\alpha q-\alpha q0)\\ 0 & -\sin(\alpha q-\alpha q0) & \cos(\alpha q-\alpha q0)\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\beta q & 0 & \sin\beta q\\ 0 & 1 & 0\\ -\sin\beta q & 0 & \cos\beta q\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\cos\gamma q & \sin\gamma q & 0\\ -\sin\gamma q & \cos\gamma q & 0\\ 0 & 0 & 1\end{pmatrix}$$

【０２７４】

ＸＹＺ座標系で固定された点P_{1q}、P_{2q}、P_{3q}のＵＶＷ座標系での座標は、以下のようになる。大腿骨部１０Ａと共に移動する点P_{4q}、P_{5q}、P_{6q}は、ＵＶＷ座標系では座標が変化しない。

P_{1q}＝(u1q,v1q,w1q)

＝［Rq］*(０,-Dq1,Hq1)^t

P_{2q}＝(u2q,v2q,w2q)

＝［Rq］*(Wq2,Dq2,-Hq2)^t

P_{3q}＝(u3q,v3q,w3q)

＝［Rq］*(-Wq3,Dq3,-Hq3)^t

【０２７５】

点P_{1q}、P_{2q}、P_{3q}のＵＶＷ座標系での座標が求められたので、リンクの長さは以下のようになる。

L_{1q}＝√(u1q^2+(v1q+Dq4)^2+(w1q+Hq4)^2)

L_{2q}＝√((u2q-Dq4*cos(π/6))^2+(v2q-Dq4*sin(π/6))^2+(w2q+Hq4)^2)

L_{3q}＝√((u3q+Dq4*cos(π/6))^2+(v3q-Dq4*sin(π/6))^2+(w3q+Hq4)^2)

【０２７６】

基準状態からＷ軸回りに微小に回転させた場合に、各リンクの長さがどのように変化するかを考察する。点P_{1q}、P_{2q}、P_{3q}は以下のようになる。ここで、γqは微小として、sinγq　γq、cosγq　１で近似する。

P_{1q}＝(u1q,v1q,w1q)

＝(-Dq1*sinγq,-Dq1*cosγq,Hq1)

(-Dq1*γq,-Dq1,Hq1)

$$P_{2q} = (u2q,v2q,w2q)$$
$$= (Wq2*\cos\gamma q+Dq2*\sin\gamma q, -Wq2*\sin\gamma q+Dq2*\cos\gamma q, -Hq2)$$
$$(Wq2+Dq2*\gamma q, -Wq2*\gamma q+Dq2, -Hq2)$$
$$P_{3q} = (u3q,v3q,w3q)$$
$$= (-Wq3*\cos\gamma q+Dq3*\sin\gamma q, Wq3*\sin\gamma q+Dq3*\cos\gamma q, -Hq3)$$
$$(-Wq3+Dq3*\gamma q, Wq3*\gamma q+Dq3, -Hq3)$$

【０２７７】

リンクの長さを計算すると、以下のようになる。

$$L_{1q} = \sqrt{((Dq1*\gamma q)^2+(-Dq1+Dq4)^2+(Hq1+Hq4)^2)}$$
$$L_{2q} = \sqrt{((Wq2+Dq2*\gamma q-Dq4*\cos(\pi/6))^2 +(-Wq2*\gamma q+Dq2-Dq4*\sin(\pi/6))^2+(-Hq2+Hq4)^2)}$$
$$L_{3q} = \sqrt{((-Wq3+Dq3*\gamma q+Dq4*\cos(\pi/6))^2 +(Wq3*\gamma q+Dq3-Dq4*\sin(\pi/6))^2+(-Hq3+Hq4)^2)}$$

【０２７８】

基準状態でのリンクの長さとの差を求めると、以下のようになる。

$$L_{1q}{}^2 - L_{1q0}{}^2 = (Dq1*\gamma q)^2 > 0$$
$$L_{2q}{}^2 - L_{2q0}{}^2 = (Wq2+Dq2*\gamma q-Dq4*\cos(\pi/6))^2-(Wq2-Dq4*\cos(\pi/6))^2 +(-Wq2*\gamma q+Dq2-Dq4*\sin(\pi/6))^2-(Dq2-Dq4*\sin(\pi/6))^2$$
$$= \gamma q*((Dq2^2+Wq2^2)*\gamma q+2*(Wq2*\sin(\pi/6)-Dq2*\cos(\pi/6))*Dq4)$$
$$L_{3q}{}^2 - L_{3q0}{}^2 = (-Wq3+Dq3*\gamma q+Dq4*\cos(\pi/6))^2-(-Wq3+Dq4*\cos(\pi/6))^2 +(Wq3*\gamma q+Dq3-Dq4*\sin(\pi/6))^2-(Dq3-Dq4*\sin(\pi/6))^2$$
$$= \gamma q*((Dq3^2+Wq3^2)*\gamma q-2*(Wq3*\sin(\pi/6)-Dq3*\cos(\pi/6))*Dq4)$$

【０２７９】

上に示す式から、$Wq2*\sin(\pi/6)-Dq2*\cos(\pi/6)>0$、かつ$Wq3*\sin(\pi/6)-Dq3*\cos(\pi/6)>0$が成立する場合、あるいは、$Wq2*\sin(\pi/6)-Dq2*\cos(\pi/6)<0$、かつ$Wq3*\sin(\pi/6)-Dq3*\cos(\pi/6)<0$が成立する場合には、基準状態からＷ軸回りに微小角度回転すると、大腿部外側リンク２４Ｌの長さL_{2q}、大腿部内側リンク２５Ｌの長さL_{3q}のどちらか一方が長くなり、他方が短くなることが分かる図８５に示すように、線分$P_{0q}P_{2q0}$がＶ軸となす角度と線分$P_{0q}P_{3q0}$がＶ軸となす角度は、どちらも$\pi/6$(＝６０度)より大きい。つまり、$Wq2*\sin(\pi/6)-Dq2*\cos(\pi/6)>0$、かつ$Wq3*\sin(\pi/6)-Dq3*\cos(\pi/6)>0$が成立する。股関節部２２では、基準状態からＷ軸回りに微小角度回転する場合に、大腿部外側リンク２４Ｌの長さL_{2q}、大腿部内側リンク２５Ｌの長さL_{3q}のどちらか一方が長くなり、他方が短くなることが分かる。

【０２８０】

膝関節部４０に関して、指定角度をとることができるような膝部駆動リンク４２Ｌの長さの決め方を説明する。膝関節部４０、膝部駆動リンク取付部Ｊ３５、大腿部側補助具取付部Ｊ３６の位置は、大腿骨部１０Ａに対して決まっている。膝関節部４０の角度α_nが決まると、下腿部側補助具取付部Ｊ３８の位置が決まる。大腿部側補助具４３と下腿部側補助具４４の長さは固定なので、下腿部側補助具取付部Ｊ３８の位置が決まると、膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７の位置が決まる。膝部駆動リンク４２Ｌの長さを、決まった膝部駆動リンク補助具接続部Ｊ３７と膝部駆動リンク取付部Ｊ３５との距離にすれば、膝関節部４０を指定した角度α_nにすることができる。

【０２８１】

手部９は、各指部の第１指関節部、第２指関節部が指定された角度になるように、各指関節部のウォームギヤが指定された角度に対応する位置になるように、モータが駆動される。対向可能指部９７が普通指部と対向でき、第１関節部だけを曲げることができるので、指部を伸ばして薄い紙などを挟んで持つことができる。対向可能指部９７を持たず、あらかじめ対向するように指部を配置してもよい。指部は５本でなくてもよく、少なくとも３本あればよい。手部９のように、１本の対向可能指部と４本の普通指部を有する方が、物を掴む、ボタンを押す、レバーを操作するなど人と同様な動作をする上で有利である。

【０２８２】
　人型ロボット１００では、各関節部をアクチュエータの伸縮により駆動する方式としている。そのため、関節部にギヤを配置するする必要がなく、関節部をコンパクトにできる。関節部を人間と同様な次数の回転自由度を持たせているので、人と同様な動作をすることができる。
【０２８３】
　手部９は、親指に相当する対向可能指部９７を有する。対向可能指部９７を４本の普通指部９３、９４、９５、９６と対向させることができ、対向可能指部９７と普通指部９３、９４、９５、９６とで物を掴むことができる。各指関節部は、ウォームとウォームホイールを使用するウォームギヤ機構で駆動するようにしたので、指曲げの力を大きくすることができる。第１指関節部および第２指関節部をそれぞれウォームギヤ機構で駆動するので、第１指関節部と第２指関節部のどちらか一方だけを曲げたり、両方を曲げたりできる。また、電源供給が遮断された場合にも、ウォームギヤ機構により把持力を維持できる。
【０２８４】
　この発明に係る人型ロボットは、人に近い動きを可能とする構造を有するものである。そのため、人型ロボットが通常の人の作業の代替することが可能となる。人工知能が搭載されれば、産業上、高齢化社会、労働力不足の解消に利用可能と判断される。特に、長時間作業が厳しい環境（放射線環境、高温環境、低温環境等）下や単純作業での労働力不足の解消に利用可能と推測される。
【０２８５】
　３回転自由度接続機構は、胸屈曲部Ｃ１、肩部Ｃ４、肘部Ｃ５、膝部Ｃ８、足首部Ｃ９で使用してもよい。３回転自由度接続機構は、胴体屈曲部Ｃ２、首部Ｃ３、手首部Ｃ６、股部Ｃ７のすべてではなく、胴体屈曲部Ｃ２、首部Ｃ３、手首部Ｃ６、股部Ｃ７、胸屈曲部Ｃ１、肩部Ｃ４、肘部Ｃ５、膝部Ｃ８、足首部Ｃ９の少なくとも一つで使用してもよい。
【０２８６】
　人型ロボットは、胸部、頭部および上肢部だけを備えるものでもよい。人型ロボットは、腰部、胸部、頭部および上肢部だけを備えるものでもよい。人型ロボットは、腰部および下肢部だけを備えるものでもよい。人型ロボットは、頭部を備えなくてもよい。そのような人型ロボットが有する少なくとも一つの関節部に、３回転自由度接続機構を使用してもよい。腰部を有せず上肢部を有する人型ロボットでは、手部から遠い側を第１部材とする。
【０２８７】
　人型ロボットではなく、手部と、手部から直列に接続された１個または複数個の腕区間部とを有するロボットアームに、この発明に係る３回転自由度接続機構を適用してもよい。手部および腕区間部の何れかを第２部材として、手部から遠い側の第１部材に第２部材を３回転自由度で回転可能に接続するように、３回転自由度接続機構を使用すればよい。そのようなロボットアームは、手部を適切な位置に適切な角度で向けることができる。
【０２８８】
　この発明に係る手部は、手部だけをロボットハンドとして使用することもできる。また、この実施の形態１とは異なる手部を使用してもよい。
【０２８９】
　関節部およびリンク取付部に２回転自由度を持たせる２軸ジンバルは、実施の形態で示したものとは異なる構造のものを使用してもよい。関節部およびリンク取付部が適用される箇所に応じて、適切なものを使用すればよい。
【０２９０】
　実施の形態１での胴体屈曲部、胸屈曲部、首部、肩部、肘部、手首部、股部、膝部、足首部が有する各特徴は、３回転自由度接続機構を有さない人型ロボットにも適用できる。
【０２９１】
　アクチュエータは、ねじ棒などを使用するスクリュー系のものでなくてもよく、油圧を

利用するものなどでもよい。２点間の距離を変更し維持できるものであれば、アクチュエータはどのような構成のものでもよい。アクチュエータで、モータの回転をねじ棒に伝える機構は、ギヤ、タイミングベルトなど適切なものを使用すればよい。
【０２９２】
　対向可能指部は、掌板部の側面の位置から掌板部と交差して普通指部と対向する位置に移動可能であり、かつ普通指部と同様に３個の指関節部を持たせるようにしてもよい。そのためには、対向可能指部が、第４指節部と、第４指節部を第３指節部に回転可能に接続する第４指関節部をさらに有する。そして、第３指関節部は、ウォームギヤ機構により第３指節部を第２指節部に対して回転させるようにする。第４指関節部は、第３指関節部と連動して回転してもよいし、第３指関節部とは独立に回転してもよい。手部が、常に普通指部と対向する位置に存在する指部を備えてもよい。普通指部とは異なる方向に曲げられる指部を手部が、備えてもよい。
　以上のことは、他の実施の形態でもあてはまる。
【０２９３】
　実施の形態２．
　実施の形態２は、膝関節部４０を駆動する膝部駆動リンク４２Ｌを下腿部１１側だけに接続した場合である。図８６は、この発明の実施の形態２に係る人型ロボット１００Ｘの斜視図である。人型ロボット１００Ｘの正面図、左側面図、背面図および平面図を、それぞれ図８７、図８８および図８９に示す。
【０２９４】
　人型ロボット１００Ｘでは、大腿部１０Ｘに膝部駆動リンク４２Ｌの一端が取付けられない。下腿部１１Ｘにだけ膝部駆動リンク４２Ｌの一端が取付けられる。人型ロボット１００Ｘは、大腿部１０Ｘと下腿部１１Ｘがほぼ平行になるまで膝関節部４０Ｘを大きく曲げると、膝関節部４０Ｘを伸ばす力を十分に出せない場合がある。膝関節部４０Ｘを大きく曲げるような姿勢をとる必要が無い場合は、人型ロボット１００Ｘは、実施の形態１の人型ロボット１００と同様に使用できる。人型ロボット１００Ｘでは、膝関節部４０Ｘの構造が簡素化されているので、人型ロボット１００よりも低コストで製造できる。
【０２９５】
　実施の形態３．
　実施の形態３は、つま先部と足本体部とがなす角度を変更するアクチュエータを設けた場合である。この発明の実施の形態３に係る人型ロボット１００Ｙが有する左の足部の平面図、左側面図、正面図および斜視図を、図９０、図９１、図９２および図９３に示す。
【０２９６】
　人型ロボット１００Ｙが有する足部１２Ｙは、足本体部１２Ａとつま先部１２Ｂとがなす角度を変更するつま先部駆動アクチュエータ４７を有する。つま先部駆動アクチュエータ４７は、足首関節部４１と縦に並んでつま先部１２Ｂ側に配置される。足本体部１２Ａには、足本体部側リンク取付部Ｊ４３が設けられる。足本体部側リンク取付部Ｊ４３には、つま先部駆動リンク４７Ｌの一端が回転可能に取付けられる。つま先部１２Ｂには、つま先部駆動リンク４７Ｌのもう一端が回転可能に取付けられるつま先部側リンク取付部Ｊ４４が設けられる。足本体部側リンク取付部Ｊ４３およびつま先部側リンク取付部Ｊ４４では、足部１２Ｙの左右方向に平行な回転軸の回りの１回転自由度を有してつま先部駆動リンク４７Ｌが取付けられる。モータ４７Ｍは、つま先部駆動リンク４７Ｌの上側に配置される。
【０２９７】
　足内屈曲部Ｃ１０は、足本体部１２Ａの前方に接続したつま先部１２Ｂを足本体部１２Ａに回転可能に接続する。足内屈曲部Ｃ１０は、つま先関節部１２Ｃ、つま先部駆動リンク４７Ｌとモータ４７Ｍとを有するつま先部駆動アクチュエータ４７、つま先部１２Ｂに設けられたつま先側リンク取付部Ｊ４４、および足本体部Ａに設けられた足本体側リンク取付部Ｊ４３を有する。つま先関節部１２Ｃは、つま先部１２Ｂと足本体部１２Ａとを１回転自由度で接続する。つま先部駆動リンク４７Ｌは、つま先部１２Ｂおよび足本体部１

２Ａの上側に位置する長さが変更可能なリンクである。つま先側リンク取付部Ｊ４４には、つま先部駆動リンク４７Ｌの一端が回転可能に取付けられる。足本体側リンク取付部Ｊ４３には、つま先部駆動リンク４４Ｌの他端が回転可能に取付けられる。
【０２９８】
つま先部駆動リンク４７Ｌが短くなると、つま先部１２Ｂと足本体部１２Ａとがなす角度が小さくなり、つま先部１２Ｂが上に移動する。つま先部駆動リンク４７Ｌが長くなると、つま先部１２Ｂと足本体部１２Ａとがなす角度が大きくなり、つま先部１２Ｂが下に移動する。
【０２９９】
つま先部駆動リンク４７Ｌを備えることで、つま先部１２Ｂと足本体部１２Ａとの角度を指定された角度にすることができる。そのため、人型ロボット１００Ｙが歩いたり、走ったりする際に、人型ロボット１００Ｙの動作を人間の動作により近くすることができる。
【０３００】
足部１２の内部につま先部駆動アクチュエータ４７を配置するスペースが十分でない場合は、下腿部１１などに設けたモータなどからワイヤなどでつま先関節部１２Ｃの角度を変更する力を伝えるようにしてもよい。
【０３０１】
実施の形態４．
実施の形態４は、油圧機構を可変長リンクに使用した場合である。人型ロボット１００Ｚは、油圧機構を使用したアクチュエータを有する。図９４は、実施の形態４に係る人型ロボットが有するアクチュエータが有する可変長リンクの構造を説明する断面図である。
【０３０２】
胸腰部中央アクチュエータ１９Ｚを例にして、油圧機構を使用するアクチュエータの構造を説明する。アクチュエータ１９Ｚは、可変長リンク１９ＬＺとモータ１９Ｍとを有する。可変長リンク１９ＬＺは、シリンダ１９Ｈと、シリンダ１９Ｈの内部を移動するピストン１９Ｊと、配管１９Ｋと、ポンプ１９Ｎとを有する。シリンダ１９Ｈには、鉱物油などの液体が充填される。ピストン１９Ｊは、シリンダ１９Ｈの内部を第１の部屋１９Ｐと第２の部屋１９Ｑとに区分する。配管１９Ｋは、第１の部屋１９Ｐと第２の部屋１９Ｑとを結ぶ。配管１９Ｋには、液体が充填される。ポンプ１９Ｎは、配管１９Ｋの途中に設けられる。ポンプ１９Ｎは、モータ１９Ｍにより駆動される。ポンプ１９Ｎは、モータ１９Ｍにより駆動される。ポンプ１９Ｎは、液体を第１の部屋１９Ｐから第２の部屋１９Ｑへ移動させることができ、液体を第２の部屋１９Ｑから第１の部屋１９Ｐへ移動させることができる。
【０３０３】
ピストン１９Ｊの一端が胸側中央リンク取付部Ｊ５に取付けられえる。シリンダ１９Ｈの一端が腰側中央リンク取付部Ｊ１０に取付けられる。
【０３０４】
ポンプ１９Ｎが、第１の部屋１９Ｐから第２の部屋１９Ｑへ液体を移動させると、ピストン１９Ｊが胸側中央リンク取付部Ｊ５に近づく方向へ移動する。ポンプ１９Ｎが、第２の部屋１９Ｑから第１の部屋１９Ｐへ液体を移動させると、ピストン１９Ｊが胸側中央リンク取付部Ｊ５から遠ざかる方向へ移動する。第１の部屋１９Ｐとの第２の部屋１９Ｑとの間で液体が移動しなければ、ピストン１９Ｊの位置は変化しない。したがって、可変長リンク１９ＬＺの長さは変化可能であり、可動範囲内の任意の長さを維持できる。
【０３０５】
モータ１９Ｍがポンプ１９Ｎを駆動することで、ねじ棒１９Ａなどを使用するスクリュー系のアクチュエータの替わりに油圧機構を使用するアクチュエータを使用することができる。
【０３０６】
配管１９Ｋを液体が流れるか流れないかを切替えるバルブを設けてもよい。可変長リン

ク１９ＬＺの長さを変化させる場合には、バルブを開く。可変長リンク１９ＬＺの長さを固定する場合には、バルブを閉じる。
【０３０７】
実施の形態５.
実施の形態５は、対向可能指部の替わりに普通指部と常に対向する対向指部を有する手部を人型ロボットが有する場合である。図９５は、実施の形態５に係る人型ロボットが有する左の手部９Ａを手の甲側から見た斜視図である。図９６は、左の手部９Ａを手の平側から見た斜視図である。図９７、図９８、および図９９は、左の手部９Ａの正面図、第１指部８３が存在する側から見た側面図、および背面図である。手部９Ａの手の平側から見た図を正面図とする。左の手部９Ａは、手の平を正面に向けており第１指部８３から第４指部８６を上に向けた状態で図示している。図１００は、左の手部９Ａを指先側から見た側面図である。図１０１は、左の手部９Ａを手首側から見た側面図である。図１０２は、対向指部８７を曲げた状態での第１指部が存在する側から見た側面図である。図１０１では、図を見やすくするために、手首取付部８１を省略した状態で図示している。
【０３０８】
手部９Ａの構造を説明する。手部９Ａは、手首取付部８１により手首板部９１に取付けられる。手首取付部８１は、側面から見るとＬ字状の部材である。手首取付部８１は、手首板部９１に取付けられる円形の取付板部８１Ａと、掌板部８２と接続する長方形状の掌板接続部８１Ｂとを有する。取付板部８１Ａと掌板接続部８１Ｂとは、約９０度の角度で接続する。ここでは、手首取付部８１と手首板部９１の間に円筒状の部材を挟んでいる。円筒状の部材を挟まなくてもよい。
【０３０９】
図１０３は、左の手部の掌板部の平面図である。図１０３に示すように、掌板部８２において、第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５、第４指部８６および対向指部８７が取付けられる略長方形の部分を、それぞれ第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃ、第４指取付部８２Ｄおよび対向指取付部８２Ｅと呼ぶ。掌板部８２のそれ以外の部分を、掌板本体部８２Ｆと呼ぶ。第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄは、掌板本体部８２Ｆの指先方向の指先側に接続する。対向指取付部８２Ｅは、指先方向の手首側であり手幅方向では第１指取付部８２Ａ側である掌板部８２の角に存在する。
【０３１０】
第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃ、第４指取付部８２Ｄおよび対向指取付部８２Ｅは、指部の第１指節部が接続される指部ごとに分離した指根元部である。掌板本体部８２Ｆは、指根元部が接続する本体部である。
【０３１１】
第１指取付部８２Ａと第２指取付部８２Ｂとは直接は接続せず、掌板本体部８２Ｆを介して接続する。第２指取付部８２Ｂと第３指取付部８２Ｃも、掌板本体部８２Ｆを介して接続する。第３指取付部８２Ｃと第４指取付部８２Ｄも、掌板本体部８２Ｆを介して接続する。第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄは、隣接するものとの間に間隔を持たせて掌板本体部８２Ｆと接続する。第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５および第４指部８６は、指先側が開くように掌板部８２に取付けられる。そのため、第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄは、それぞれが第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５および第４指部８６と同じ方向になるように、掌板本体部８２Ｆと接続する。
【０３１２】
第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄは、指先方向と直交する手幅方向の幅が狭くなる幅減少部を介して掌板本体部８２Ｆと接続する。そのため、第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄが掌板本体部８２Ｆと接続する箇所には、切り込みまたは段差を設ける。第１指取付部８２Ａには、第２指取付部８２Ｂでない側は幅を狭くする段差８

10

20

30

40

50

２Ｇを設け、第２指取付部８２Ｂ側には半円状の切り込み８２Ｈを設ける。第２指取付部８２Ｂには、両側に半円状の切り込み８２Ｊ、８２Ｋを設ける。第３指取付部８２Ｃには、両側に半円状の切り込み８２Ｌ、８２Ｍを設ける。第４指取付部８２Ｄには、第３指取付部８２Ｃ側に切り込み８２Ｎを設け、第３指取付部８２Ｃでない側に段差８２Ｐを設ける。

【０３１３】

切り込み８２Ｈ、８２Ｊ、８２Ｋ、８２Ｌ、８２Ｍ、８２Ｎは、すべて同じ形状である。切り込み８２Ｈ、８２Ｊの間は、直線で結ぶ。切り込み８２Ｍ、８２Ｎの間は、直線で結ぶ。切り込み８２Ｋ、８２Ｌの間は、直線で結ぶ。切り込み８２Ｈ、８２Ｊと、これらを結ぶ直線をまとめて、掌板本体部８２Ｆに設けた切り込みと考えてもよい。切り込み８２Ｋ、８２Ｌで１個の切り込み、切り込み８２Ｍ、８２Ｎで１個の切り込みを、掌板本体部８２Ｆに設けていると考えてもよい。

10

【０３１４】

第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄの手幅方向の幅は同じであり、切り込みまたは段差を設けた箇所である幅減少部の幅も同じになる。

【０３１５】

物体を手部９Ａで把持する時に、第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５、第４指部８６および対向指取付部８２Ｅが、適度に曲がる。その理由は、第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃ、第４指取付部８２Ｄおよび対向指取付部８２Ｅが互いに分離しているからである。また、第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃおよび第４指取付部８２Ｄは、幅減少部を介して掌板本体部８２Ｆと接続するからである。

20

【０３１６】

掌板部８２の第１指部８２側の側面には、対向指取付部８２Ｅと第１指取付部８２Ａとを分離する切り込み８２Ｑを設けている。切り込み８２Ｑは、対向指取付部８２Ｅ側では手首側の外形線と平行であるが、第１指取付部８２Ａ側では間隔が内部に入るほど狭くなるような直線部分と、対向指取付部８２Ｅ側と平行な部分とを有する。切り込み８２Ｋは、手幅方向で端から最も遠い部分では半円状である。対向指取付部８２Ｅには、第１ウォーム８７Ｊを通す貫通穴８２Ｕを設ける。なお、図１０３では、掌板部８２に部材を取付けるための穴などは、図示を省略している。

30

【０３１７】

掌板本体部８２Ｆの掌板接続部８１Ｂが取付けられる箇所には、２個の切り込み８２Ｒが設けられる。２個の切り込み８２Ｒで挟まれる部分の掌板本体部８２Ｆを、手首取付部８２Ｓと呼ぶ。掌板接続部８１Ｂは、手首取付部８２Ｓに１個のねじでねじ留めされ、２個の切り込み８２Ｒの指先側の掌板本体部８２Ｆにそれぞれ１個のねじでねじ留めされる。切り込み８２Ｒで挟まれており、手部取付部８２Ｓは幅が狭い。手部取付部８２Ｓを介して手部９Ａを手首板部９１に取付けるので、指先方向に向かう軸の回りに手部９Ａを適度に回転させることができる。

40

【０３１８】

掌板本体部８２Ｆは、３本の直線で折れ曲がっている。折れ曲がった各部分に１個の普通指部が接続する。そのため、第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃ、第４指取付部８２Ｄがそれぞれ接続する部分が、互いに異なる角度になる。折れ曲がる角度は１か所で６度程度である。掌板部８２を折曲げることにより、掌板部８２で物体を包み込むように把持することが、折曲がりが無い場合よりも容易になる。３か所の折れ曲がりで発生する線の方向は、指先方向に略平行な方向である。

【０３１９】

掌板部８２の手の平側には、複数の掌肉部８２Ｔが設けられる。掌肉部８２Ｔの形状は、掌板部８２から遠い側の角および辺が面取りされた直方体である。掌肉部８２Ｔは、物体を掴んだ場合に物体に掌板部８２から加えられる荷重を緩和するためのクッションの役

50

割を果たす。掌肉部８２Ｔは、例えばゴムなど、適度な弾性を持つ材料で製造する。
【０３２０】
掌肉部８２Ｔは、第１指取付部８２Ａ、第２指取付部８２Ｂ、第３指取付部８２Ｃ、第４指取付部８２Ｄおよび対向指取付部８２Ｅに、それぞれ１個が設けられる。掌板本体部８２Ｆには、折れ曲がった部分ごとに３個の掌肉部８２Ｔが設けられる。対向指部８７が存在する部分の掌板本体部８２Ｆには、掌肉部８２Ｔは設けない。
【０３２１】
４本の普通指部である第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５および第４指部８６は、根元側よりも指先側が開くように掌板部８２に接続する。図９９から分かるように、第２指部８４は取付板部８１Ａに対して垂直で、第２指部８４の中心と取付板部８１Ａの中心は一致している。第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５および第４指部８６は、同様な構造である。
【０３２２】
手部９Ａが手部９と大きく異なる対向指部８７から、その構造を説明する。対向指部８７は、掌板部８２の手の平側に掌板部８２と交差する方向に指先が延びるように設けられる。対向指部８７は、第１指部８３から第４指部８６と向き合うように設けられている。対向指部８７は、掌板部８２の手首側かつ第１指部８３側の角に近い位置に設ける。対向指部８７が回転する方向は、第１指部８３および第２指部８３と交差する方向である。図９７に示すように、対向指部８７を伸ばした状態で掌板部８２との角度を小さくすると、指先が第２指部８４に近づく方向に移動する。
【０３２３】
対向指部８７は、第１指部８３などと同様に、掌板部８２に近い側から第１指節部８７Ａ、第２指節部８７Ｂ、第３指節部８７Ｃが直列に接続する。掌板部８２と第１指節部８７Ａとの間には、第１指関節部８７Ｄが存在する。第１指関節部８７Ｄは、第１指節部８７Ａを掌板部８２に回転可能に接続する。第１指節部８７Ａと第２指節部８７Ｂとの間には、第２指関節部８７Ｅが存在する。第２指関節部８７Ｅは、第２指節部８７Ｂを第１指節部８７Ａに回転可能に接続する。第２指節部８７Ｂと第３指節部８７Ｃとの間には、第３指関節部８７Ｆが存在する。第３指関節部８７Ｆは、第３指節部８７Ｃを第２指節部８７Ｂに回転可能に接続する。第１指関節部８７Ｄ、第２指関節部８７Ｅおよび第３指関節部８７Ｆの回転軸は、互いに平行である。つまり、対向指部８７では、第１指関節部８７Ｄが第１指節部８７Ａを回転させる方向、第２指関節部８７Ｅが第２指節部８７Ｂを回転させる方向、および第３指関節部８７Ｆが第３指節部８ＣＢを回転させる方向が、すべて同じ方向である。対向指部８７が常に第１指部８３から第４指部８６と対向する位置にあり３個の指関節部を有するので、手部９Ａは手部９よりも、物体をより適切に掴むことができる。
【０３２４】
掌板部８２、第１指節部８７Ａ、第２指節部８７Ｂおよび第３指節部８７Ｃの中の隣接する２個に関して、掌板部８２に近い側を基部側部材、基部側部材でない側を先端側部材と呼ぶ。第１指関節部８７Ｄ、第２指関節部８７Ｅ、第３指関節部８７Ｆは、第１指節部８７Ａ、第２指節部８７Ｂ、第３指節部８７Ｃの何れかである先端側部材を基部側部材に回転可能に接続する３個の指関節部である。第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５、第４指部８６に関しても同様である。
【０３２５】
対向指部８７は、手幅方向には移動できない。つまり、図７２から図７８に示す手部９のように、対向指部８７は掌板部８２の側面の位置に移動して、指先を第１指部８３から第４指部８６と略同じ方向に向けることはできない。対向指部８７にさらに１個の指関節部とモータを追加すれば、対向指部８７は、手幅方向にも移動させることは可能である。手部９Ａでは、指関節部とモータの数を手部９と同じにしている。
【０３２６】
対向指部８７の第１指関節部８７Ｄを回転させる動力源となる指部第１モータ８７Ｈは

、掌板部８２の手の甲側に垂直に固定する。指部第１モータ８７Ｈの回転軸側には、回転数を変換する第１ギヤヘッド８７Ｔが設けられる。第１ギヤヘッド８７Ｔは、外形が四角柱状である。第１ギヤヘッド８７Ｔと指部第１モータ８７Ｈは、互いに動かないように固定されている。第１ギヤヘッド８７Ｔが掌板部８２に垂直に固定される。第１ギヤヘッド８７Ｔを垂直に固定することで、指部第１モータ８７Ｈおよび第１ギヤヘッド８７Ｔを掌板部８２に剛性を高くして固定できる。

【０３２７】

指部第２モータ８７Ｌにも第２ギヤヘッド８７Ｕが固定されている。第２ギヤヘッド８７Ｕも、外形が四角柱状である。他の指の指部第１モータまたは指部第２モータも、それぞれ第１ギヤヘッドまたは第２ギヤヘッドが固定されている。

10

【０３２８】

指元ヨーク部８７Ｇから指先側の対向指部８７は、掌板部８２の手の平側に存在する。第１ウォーム８７Ｊに対応する位置には、掌板部８２には貫通穴８２Ｕが設けられる。指部第１モータ８７Ｈの回転軸に直結された第１ウォーム８７Ｊは、手の平側の指元ヨーク部８７Ｇにより回転可能に支持される第１ウォームホイール８７Ｋとかみ合い回転させる。

【０３２９】

第１指関節部８７Ｄは、掌板部８２に配置され指部第１モータ８７Ｈ、指部第１モータ８７Ｈにより回転する第１ウォーム８７Ｊ、第１ウォーム８７Ｊとかみ合い第１指節部８７Ａと共に第１指関節部８７Ｄの回転軸の回りを回転する第１ウォームホイール８７Ｋを有するウォームギヤ機構により第１指節部８７Ａを掌板部８２に対して回転させる。

20

【０３３０】

対向指部８７が大きな力で物体を掴む場合には、反作用として第１ウォームホイール８７Ｋを回転させる力も大きくなる。第１ウォームホイール８７Ｋを回転しないようにする力を指部第１モータ８７Ｈが出す。指部第１モータ８７Ｈが強固に掌板部８２に固定されていないと、第１ウォームホイール８７Ｋを回転させる力により、指部第１モータ８７Ｈおよび第１ギヤヘッド８７Ｔが掌板部８２から剥がれてしまう。指部第１モータ８７Ｈおよび第１ギヤヘッド８７Ｔを掌板部８２に垂直にすることで、指部第１モータ８７Ｈを掌板部８２から分離させようとする力に対抗する力を発生させやすくなる。

【０３３１】

30

第１指節部８７Ａは、第１ホイール連動部８７ＡＡと、第１ヨーク部８７ＡＢと、第２モータ設置部８７ＡＣとで構成される。第１ホイール連動部８７ＡＡは、第１ウォームホイール８７Ｋを挟んでと共に回転する箱状の部材である。第１ヨーク部８７ＡＢは、第２指関節部８７Ｅの回転軸を挟んで保持する部材である。第１ホイール連動部８７ＡＡの長さは、対向指部８７の指先と普通指部の指先との間で物体を挟める程度の長さとする。

【０３３２】

第２モータ設置部８７ＡＣには、指部第２モータ８７Ｌが設置される。第２モータ設置部８７ＡＣは、第１ヨーク部８７ＡＢに接して手首側に存在する部材である。第１ホイール連動部８７ＡＡと、第２モータ設置部８７ＡＣとは一体に製造される。第１ホイール連動部８７ＡＡは、対向指部８７の側面から見ると第２指関節部８７Ｅの側が幅広の多角形である。第１ホイール連動部８７ＡＡには、第２指関節部８７Ｅの側に２枚の板材である第１ヨーク部８７ＡＢがねじ止めされる。第１ヨーク部８７ＡＢの先端には、突起８７ＡＤが設けられる。突起８７ＡＤは、第２指関節部８７Ｅが手の甲側への回転を許容回転角度に制限するストッパである。

40

【０３３３】

第２モータ設置部８７ＡＣは、第１ヨーク部８７ＡＢに垂直なモータ設置面と、第１ヨーク部８７ＡＢよりも間隔が広く第１ヨーク部８７ＡＢに平行な側面と、第１ホイール連動部８７ＡＡと接続する底面とを有する。側面はモータ設置面よりも高さが低く、指元側の角が大きく面取りされている。設置面の上側の角も面取りされている。モータ設置面には、指部第２モータ８７Ｌおよび第２ギヤヘッド８７Ｕが垂直に固定される。モータ設置

50

面には貫通穴が設けられており、第２ギヤヘッド８７Ｕの回転軸がこの貫通穴を通る。
【０３３４】
　指部第２モータ８７Ｌの回転軸には、第２ウォーム８７Ｍが取付けられる。第２ウォーム８７Ｍは、第１ヨーク部８７ＡＢに回転可能に保持される第２ウォームホイール８７Ｎとかみ合う。第２ウォーム８７Ｍと第２ウォームホイール８７Ｎとによるウォームギヤ機構により、指部第２モータ８７Ｌの回転が第２指関節部８７Ｅを回転の軸として、第２指節部８７Ｂが第１指節部８７Ａに対して回転する。
【０３３５】
　第２指節部８７Ｂは、第２ウォームホイール８７Ｎを挟んで保持し、第２ウォームホイール８７Ｎと共に回転する。第２指節部８７Ｂは、２枚の板材である。第２指節部８７Ｂの第３指節部８７Ｃ側の端部には、第３指関節部８７Ｆの回転軸が設けられる。第２指節部８７Ｂは、厚さは一定である。第２指節部８７Ｂは、第２ウォームホイール８７Ｎを挟み第１ヨーク部８７ＡＢで挟まれる部分、中間部分、第３指関節部８７Ｆの回転軸が設けられる部分で、小さい段差を有する階段状になっている。２枚の第２指節部８７Ｂの間隔は、第２指関節部８７Ｅの側で狭く、第３指関節部８７Ｆの側で広い。第１ヨーク部８７ＡＢの先端に設けたストッパ８７ＡＤは、第１ヨーク部８７ＡＢで挟まれる部分と側面が接する。中間部分との間に存在する第２指節部８７Ｂの段差にストッパ８７ＡＤが当たることで、第２関節部８７Ｅが手の平と反対側に回転する角度が制限される。
【０３３６】
　第２指関節部８７Ｅは、第１指節部８７Ａに配置され指部第２モータ８７Ｌ、指部第２モータ８７Ｌにより回転する第２ウォーム８７Ｍ、第２ウォーム８７Ｍとかみ合い第２指節部８７Ｂと共に第２指関節部８７Ｅの回転軸の回りを回転する第２ウォームホイール８７Ｎを有するウォームギヤ機構により第２指関節部８７Ｅを第１指節部８７Ａに対して回転させる。
【０３３７】
　図１０４を参照して、第２指関節部８７Ｅに連動させて第３指関節部８７Ｆを回転させるギヤについて説明する。図１０４は、対向指部８７の第２指節部８７Ｂ付近を拡大した斜視図である。第２指節部８７Ｂには、第２指関節部８７Ｅの回転に連動して第３指関節部８７Ｆを回転させるための複数のギヤが設けられる。第２指節部８７Ｂの外側に存在するアイドラギヤ８７Ｒは、第１ヨーク部８７ＡＢの先端に設けられた部分ギヤ８７Ｑとかみ合う。アイドラギヤ８７Ｒと部分ギヤ８７Ｑの組は、第２指節部８７Ｂの両側面に存在する。アイドラギヤ８７Ｒは、部分ギヤ８７Ｑとかみ合うことで、第２ウォームホイール８７Ｎと同じ回転方向に回転する。アイドラギヤ８７Ｒは指先側でアイドラ外ギヤ８７ＳＡとかみ合う。アイドラ外ギヤ８７ＳＡの回転軸には、第２指節部８７Ｂに挟まれてアイドラ内ギヤ８７ＳＢが固定されている。アイドラ外ギヤ８７ＳＡおよびアイドラ内ギヤ８７ＳＢは、アイドラギヤ８７Ｒとは反対方向に回転する。アイドラ外ギヤ８７ＳＡおよびアイドラ内ギヤ８７ＳＢは、同じ回転軸の周りに回転する。アイドラ内ギヤ８７ＳＢは、第３指節部８７ＡＣと共に第３指関節部８７Ｆの回転軸の回りを回転する第３指節駆動歯車８７Ｐとかみ合う。第３指節駆動歯車８７Ｐは、アイドラ内ギヤ８７ＳＢとは反対側に回転する。第３指節駆動歯車８７Ｐは、第２ウォームホイール８７Ｎと同じ方向に回転する。第２ウォームホイール８７Ｎと第３指節駆動歯車８７Ｐの間のギヤ比は、１に近い適切な値になるように調整する。
【０３３８】
　アイドラギヤ８７Ｒは、第２指関節部８７Ｂの回転と連動して回転する歯車である。アイドラ外ギヤ８７ＳＡ（アイドラ内ギヤ８７ＳＢも含む）は、アイドラギヤ８７Ｒにより駆動される奇数個の回転軸で回転する歯車である。第３指節駆動歯車８７Ｐは、アイドラ内ギヤ８７ＳＢにより駆動される第３指関節部８７Ｆに設けられた歯車である。
【０３３９】
　第３指節部８７Ｃは、指先部８７ＣＡと、指先基部８７ＣＢとで構成する。指先部８７ＣＡは、円筒の先端に半球が接続した形状である。指先基部８７ＣＢは、第３指節駆動歯

車８７Ｐと共に回転する部材である。指先基部８７ＣＢの指先側には、角が丸い長方形の板状の部材が設けられる。この板状の部材に、指先部８７ＣＡが取付けられる。そのため、指先部８７ＣＡを用途に合わせた形状のものに容易に取り替えることができる。
【０３４０】
　第１指部８３は、指部第１モータ８３Ｈも含めて手の甲側にすべての部材が存在する。指部第１モータ８３Ｈは、第１モータ固定部８３Ｖに取付けられる。第１モータ固定部８３Ｖは、直方体状の箱体である。第１モータ固定部８３Ｖは、第１指取付部８２Ａに取付けられる。第１モータ固定部８３Ｖは、指先側の面と第１指取付部８２Ａ側の面は、開口している。指元側には補強のためのリブが設けられており、側面から見ると指元側の辺は斜めに見える。第１モータ固定部８３Ｖは、掌板部８２Ｂに垂直であり、掌板部８２Ｂに平行な面に指部第１モータ８３Ｈおよび第１ギヤヘッド８３Ｔが取付けられる。第１モータ固定部８３Ｖと掌板部８２Ｂの間に、第１ギヤヘッド８３Ｔの回転軸に取付けられた第１ウォーム８３Ｊが入る。
【０３４１】
　指部第１モータ８３Ｈを第１モータ固定部８３Ｖに垂直に固定することで、指部第１モータ８３Ｈと第１モータ固定部８３Ｖとを剛性を高くして固定できる。
【０３４２】
　第１ウォーム８３Ｊは、指元ヨーク部８３Ｇに保持される回転軸の回りに回転する第１ウォームホイール８３Ｋとかみ合う。第１指節部８３Ａは、第１ウォームホイール８３Ｋと共に第１指関節部８３Ｄの回りを回転する。
【０３４３】
　第１指節部８３Ａから指先側の構造は、対向指部８７と同様である。第１ホイール連動部８３ＡＡの長さは、対向指部８７の第１ホイール連動部８７ＡＡよりも短い。
　第２指部８４、第３指部８５および第４指部８６の構造は、第１指部８３の構造と同様である。
【０３４４】
　動作を説明する。手部９Ａは、各指部の第１指関節部、第２指関節部が指定された角度になるように、各指関節部のウォームギヤが指定された角度に対応する位置になるように、モータが駆動される。
【０３４５】
　各指関節部は、ウォームとウォームホイールを使用するウォームギヤ機構で駆動するようにしたので、指曲げの力を大きくすることができる。第１指関節部および第２指関節部をそれぞれウォームギヤ機構で駆動するので、第１指関節部と第２指関節部のどちらか一方だけを曲げたり、両方を曲げたりできる。また、電源供給が遮断された場合にも、ウォームギヤ機構により把持力を維持できる。
【０３４６】
　対向指部８７は、第１指関節部８７Ｄに加えて、第１指関節部８７Ｄと平行な回転軸を有する第２指関節部８７Ｅおよび第３指関節部８７Ｆも有するので、図１０２に示すように、第２指関節部８７Ｅを曲げて物体を保持することができる。第１指関節部８７Ｄだけを曲げて、第２指関節部８７Ｅおよび第３指関節部８７を伸ばして紙のような薄い物体を持つこともできる。
【０３４７】
　手部９では、第１ウォーム９３Ｊが第１指節部９３Ａよりも掌板部９２の側に出ている。それに対して、手部９Ａでは、第１ウォーム８３Ｊは手の甲側に存在する。第１指節８３では、第１指節部８３Ａ、第２指節部８３Ｂおよび第１指節部８３Ｃが掌板部９２に面している。第１指節８３などと掌板部９２との間で物体を保持する際に、第１ウォーム８３Ｊなどが物体と接触することを防ぐ部材などが不要になり、手部９Ａは手部９よりも構造が簡単になる。
【０３４８】
　第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５および第４指部８６を、同じ構造としたが

、指により構造を変更してもよい。ウォームギヤ機構を有するすべての指関節部で、モータで駆動されるウォームを基部側部材に対して垂直としたが、少なくとも１本の指部の少なくとも１個のウォームギヤ機構で基部側部材に対して垂直としてもよい。
【０３４９】
３個の指関節部を有する対向指部を、対向可能指部のように掌板部に対して手幅方向に回転可能にしてもよい。
以上のことは、他の実施の形態にもあてはまる。
【０３５０】
実施の形態６．
実施の形態６は、対向指部の替わりに手幅方向に指全体が回転する手幅回転指を有する手部を人型ロボットが有するように実施の形態５を変更した場合である。図１０５は、実施の形態６に係る人型ロボットが有する左の手部９Ｂを手幅回転指部８８が伸びた状態で手の甲側から見た斜視図である。図１０６は、左の手部９Ｂを手幅回転指部８８が掌板部８２に交差する方向を向いた状態で手の甲側から見た斜視図である。図１０７、図１０８、図１０９、図１１０、および図１１１は、手幅回転指部８８が伸びた状態での左の手部９Ｂの正面図、第１指部８３が存在する側から見た側面図、背面図、第４指部８６が存在する側から見た側面図、および指先側から見た側面図である。図１１２、図１１３、図１１４、図１１５、および図１１６は、手幅回転指部８８が掌板部８２に交差する方向を向いた状態での左の手部９Ｂの正面図、第１指部８３が存在する側から見た側面図、背面図、第４指部８６が存在する側から見た側面図、および指先側から見た側面図である。図１１７と図１１８は、手幅回転指部８８を拡大した斜視図である。図１１７は、手幅回転指部８８が伸びた状態での斜視図である。図１１８は、手幅回転指部８８が掌板部８２に交差する方向を向いた状態での斜視図である。
【０３５１】
図１０５から図１１８では、手首板部９１までを図示している。掌板部８２、第１指部８３、第２指部８４、第３指部８５および第４指部８６は、実施の形態１の場合と同じ構である。これらの図では、実施の形態５の図９５から図１０５では省略していたカバーなども図示している。
【０３５２】
第１指節カバー８３Ｘは、第１ヨーク部８３ＡＢを第１ホイール連動部８３ＡＡに取付ける部分を覆うカバーである。第１指節カバー８３Ｘは、一辺の中央に略長方形の突起を有する略長方形の板材をＵの字状に曲げた部材である。第１指節カバー８３Ｘは、手の平側から第１指節部８３Ａに被せる。略長方形の突起の部分は角を丸くしており、途中で段差ができるように折り曲げている。
【０３５３】
第２指節カバー８３Ｙは、第２ウォームホイール８３Ｋ、２枚の第２指節部８３Ｂに挟まれない側に存在する部分ギヤ８３Ｑ、アイドラギヤ８３Ｒおよびアイドラ外ギヤ８３ＳＡなどを覆うカバーである。第２指節カバー８３Ｙは、第１指節カバー８３Ｘと同様な形状である。第１指部８３に沿う方向の長さは、第２指節カバー８３Ｙの方が、第１指節カバー８３Ｘよりも長い。
【０３５４】
第２ウォームカバー８３Ｚは、第２ウォーム８３Ｍを手の甲側から覆うカバーである。第２ウォームカバー８３Ｚは、一方の側にだけ底があり他方にフランジを有する円筒を軸方向に半分に切ったような形状である。円筒の部分の内部に、第２ウォーム８３Ｍが存在する。第２モータ設置部８３ＡＣのモータ設置面の裏側の面に、フランジを取付ける。フランジの外形は、モータ設置面と同じような形状である。
【０３５５】
手部９Ａと異なる点を説明する。手部９Ｂは、対向指部８７の替わりに手幅回転指部８８を有する。手幅回転指部８８は、手幅方向に指全体が回転可能に掌板部８２に取付けられる。手幅回転指部８８は、対向指部８７と同様な位置で掌板部８２に取付けられる。手

幅回転指部８８は、掌板部８２の一部である手幅回転指取付部８２Ｖに取付けられる。手幅回転指取付部８２Ｖは、対向指部指取付部８２Ｅと同様に、指先方向の手首側であり手幅方向では第１指取付部８２Ａ側である掌板部８２の角に存在する。手幅回転指取付部８２Ｖの形状は、対向指部指取付部８２Ｅと同様な形状である。

【０３５６】

手幅回転指部８８は、指元ヨーク部８８Ｇから指先側は対向指部８７と同じ構造である。手幅回転指部８８と対向指部８７とが異なるのは、掌板部８２への取付け方向だけである。

【０３５７】

手幅回転指部８８は、手幅方向に回転するように、２面が開いた箱状の手幅指元部８８Ｗを介して掌板部８２に取付けられる。手幅指元部８８Ｗは、手幅回転指取付部８２Ｖの手の甲側に、手首に向かうように２０度程度の角度を持たせて取付ける。指部第１モータ８８Ｈおよび第２ギヤヘッド８８Ｔは、手幅指元部８８Ｗの内部に収納され、手幅指元部８８Ｗの手幅方向の面であるモータ設置面に取付けられる。モータ設置面には貫通穴があり、第２ギヤヘッド８８Ｔの回転軸が貫通穴を通る。モータ設置面の外面には、指元ヨーク部８８Ｇが取付けられる。指元ヨーク部８８Ｇは、その軸部材がモータ設置面に平行であり掌板部８２に対して約６５度の角度をなすように取付けられる。そうすることで、手幅回転指部８８を伸ばした状態で第１指関節部８８Ｄを回転させた場合に、第３指節部８８Ｃが掌板部８２よりも指先側に位置して、手幅回転指部８８と掌板部８２との間に物体を保持しやすい。手幅指元部８８Ｗは、モータ設置面および掌板部８２への取付面の両側に側面を有する。２個の側面の角は大きく直線で切取った形状である。手幅指元部８８Ｗの側面は、上底が短く下底に垂直な辺を有する台形状である。手首側の側面の方が、掌板部８２への取付面の側の辺が短い。

【０３５８】

手幅回転指部８８は、対向指部８７と同様に、第１指節部８８Ａが第１指節部８３Ａなどよりも長い。そのため、第１指節カバー８３Ｘは、第２指節カバー８３Ｙよりも長い。

【０３５９】

動作を説明する。手部９Ｂは、各指部の第１指関節部、第２指関節部が指定された角度になるように、各指関節部のウォームギヤが指定された角度に対応する位置になるように、モータが駆動される。

【０３６０】

各指関節部は、ウォームとウォームホイールを使用するウォームギヤ機構で駆動するようにしたので、指曲げの力を大きくすることができる。第１指関節部および第２指関節部をそれぞれウォームギヤ機構で駆動するので、第１指関節部と第２指関節部のどちらか一方だけを曲げたり、両方を曲げたりできる。また、電源供給が遮断された場合にも、ウォームギヤ機構により把持力を維持できる。

【０３６１】

手幅方向に回転する手幅回転指部８８を備えることで、手幅回転指部８８を伸ばした際の手部９Ｂの手幅方向の長さが手部９Ａよりも大きくなる。そのため、手部９Ｂの方が手部９Ａよりも大きな物体を保持することができる。掌板部８２を上側に向けて、左右の手部９Ｂが同じ高さに並ぶようにすれば、両手で大きな物体を持つこともできる。

【０３６２】

本発明はその発明の精神の範囲内において各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の変形や省略が可能である。

【符号の説明】

【０３６３】

１００、１００Ｘ、１００Ｙ、１００Ｚ　人型ロボット
　１　体幹部
　２　頭部（第２部材）
　２Ａ　頭部基準板

３　上肢部
４、４Ｘ　下肢部
５　胸部（第１部材、第２部材）
５Ｕ　胸上部
５Ｄ　胸下部
６　腰部（第１部材）
７　上腕部
７Ａ　アクチュエータ保持具
８　前腕部（第１部材、捻り軸）
９、９Ａ、９Ｂ　手部（第２部材）
１０、１０Ｘ　大腿部（第２部材）
１０Ａ　大腿骨部（捻り軸）
１０Ｂ　膝部側リンク取付板
１０Ｃ　膝部接続フレーム
１０Ｄ　大腿部側補助具取付部
１１、１１Ｘ　下腿部
１２、１２Ｙ　足部
１２Ａ　足本体部
１２Ｂ　つま先部
１２Ｃ　つま先関節部
１２Ｄ　かかと車輪部
１２Ｅ　足側面車輪部
１３　肩関節部
１４　上腕部駆動主アクチュエータ
１４Ｌ　上腕部駆動主リンク
１４Ｍ　モータ（動力源）
１５　上腕部駆動補助アクチュエータ
１５Ｌ　上腕部駆動補助リンク
１５Ｍ　モータ（動力源）
１６　胸部内関節部
１７　胸部内アクチュエータ
１７Ｌ　胸部内リンク
１７Ｍ　モータ（動力源）
１８　胸腰部関節部
１９　胸腰部中央アクチュエータ
１９Ａ　ねじ棒
１９Ｂ　ナット
１９Ｃ　円筒
１９Ｄ　ナット位置固定部
１９Ｅ　ナット回転保持部
１９Ｆ　ナットギヤ
１９Ｇ　駆動ギヤ
１９Ｌ　胸腰部中央リンク（可変長リンク）
１９Ｚ　胸腰部中央アクチュエータ
１９ＬＺ　胸腰部中央リンク（可変長リンク）
１９Ｈ　シリンダ
１９Ｊ　ピストン
１９Ｋ　配管
１９Ｎ　ポンプ
１９Ｐ　第１の部屋

１９Ｑ　第２の部屋
１９Ｍ　モータ（動力源）
２０　胸腰部右アクチュエータ
２０Ｌ　胸腰部右リンク（可変長リンク）
２０Ｍ　モータ（動力源）
２１　胸腰部左アクチュエータ
２１Ｌ　胸腰部左リンク（可変長リンク）
２１Ｍ　モータ（動力源）
２２　股関節部
２３　大腿部正面アクチュエータ
２３Ｌ　大腿部正面リンク（可変長リンク）
２３Ｍ　モータ
２４　大腿部外側アクチュエータ
２４Ｌ　大腿部外側リンク（可変長リンク）
２４Ｍ　モータ（動力源）
２５　大腿部内側アクチュエータ
２５Ｌ　大腿部内側リンク（可変長リンク）
２５Ｍ　モータ（動力源）
２６　首部中心棒（捻り軸）
２７　首関節部
２８　首部背面アクチュエータ
２８Ｌ　首部背面リンク（可変長リンク）
２８Ｍ　モータ（動力源）
２８Ｎ　リンク取付具
２９　首部右側アクチュエータ
２９Ｌ　首部右側リンク（可変長リンク）
２９Ｍ　モータ（動力源）
２９Ｎ　リンク取付具
３０　首部左側アクチュエータ
３０Ｌ　首部左側リンク（可変長リンク）
３０Ｍ　モータ（動力源）
３０Ｎ　リンク取付具
３１　肘関節部
３２　肘部駆動外側リンク
３３　肘部駆動内側リンク
３４　上腕部外側アクチュエータ
３４Ａ　ねじ棒
３４Ｂ　ナット
３４Ｃ　レール
３４Ｄ　把持部
３４Ｍ　モータ（動力源）
３５　上腕部内側アクチュエータ
３５Ａ　ねじ棒
３５Ｂ　ナット
３５Ｃ　レール
３５Ｄ　把持部
３５Ｍ　モータ（動力源）
３６　手首関節部
３７　前腕部正面アクチュエータ
３７Ｌ　前腕部正面リンク（可変長リンク）

３７Ｍ　モータ（動力源）
３７Ｎ　リンク取付具
３８　前腕部外側アクチュエータ
３８Ｌ　前腕部外側リンク（可変長リンク）
３８Ｍ　モータ（動力源）
３８Ｎ　リンク取付具
３９　前腕部内側アクチュエータ
３９Ｌ　前腕部内側リンク（可変長リンク）
３９Ｍ　モータ（動力源）
３９Ｎ　リンク取付具
10
４０、４０Ｘ　膝関節部
４１　足首関節部
４１Ａ　左右回転ヨーク
４１Ｂ　前後回転ヨーク
４２　膝部駆動アクチュエータ
４２Ｌ　膝部駆動リンク
４２Ｍ　モータ（動力源）
４３　大腿部側補助具
４４　下腿部側補助具
４５　下腿部外側アクチュエータ
20
４５Ｌ　下腿部外側リンク
４５Ｍ　モータ（動力源）
４６　下腿部内側アクチュエータ
４６Ｌ　下腿部内側リンク
４６Ｍ　モータ（動力源）
４７　つま先部駆動アクチュエータ
４７Ｌ　つま先部駆動リンク
４７Ｍ　モータ（動力源）
５１　肩部フレーム
５２　胸郭部フレーム
30
５３　胸郭部前後連結フレーム
５４　胸部中央連結フレーム
５５　胸部内関節部フレーム
５６　背骨部（捻り軸、連結棒）
５６Ｔ　胸内回転軸部
５７　リンク取付用フレーム
５８　首下部フレーム
６１　腰部主フレーム
６２　下肢部接続フレーム
６３　腰部カバー
40
６４　突起
６５　突起
６６　突起
６７　突起

８１　手首取付部
８１Ａ　取付板部
８１Ｂ　掌板接続部
８２　掌板部（基部）
８２Ａ　第１指取付部（指根元部）
50

８２Ｂ　第２指取付部（指根元部）
８２Ｃ　第３指取付部（指根元部）
８２Ｄ　第４指取付部（指根元部）
８２Ｅ　対向指部指取付部（指根元部）
８２Ｆ　掌板本体部（本体部）
８２Ｇ、８２Ｐ　段差
８２Ｈ、８２Ｊ、８２Ｋ、８２Ｌ、８２Ｍ、８２Ｎ、８２Ｑ、８２Ｒ　切り込み
８２Ｓ　手首取付部
８２Ｔ　掌肉部
８２Ｕ　貫通穴
10
８２Ｖ　手幅回転指取付部（指根元部）
８３　第１指部（普通指部）
８４　第２指部（普通指部）
８５　第３指部（普通指部）
８６　第４指部（普通指部）
８７　対向指部
８８　手幅回転指部
８３Ａ、８４Ａ、８５Ａ、８６Ａ、８７Ａ、８８Ａ　第１指節部
８３ＡＡ、８４ＡＡ、８５ＡＡ、８６ＡＡ、８７ＡＡ、８８ＡＡ　第１ホイール連動部
８３ＡＢ、８４ＡＢ、８５ＡＢ、８６ＡＢ、８７ＡＢ、８８ＡＢ　第１ヨーク部
20
８３ＡＣ、８４ＡＣ、８５ＡＣ、８６ＡＣ、８７ＡＣ、８８ＡＣ　第２モータ設置部
８３ＡＤ、８４ＡＤ、８５ＡＤ、８６ＡＤ、８７ＡＤ、８８ＡＤ　突起
８３Ｂ、８４Ｂ、８５Ｂ、８６Ｂ、８７Ｂ、８８Ｂ　第２指節部
８３Ｃ、８４Ｃ、８５Ｃ、８６Ｃ、８７Ｃ、８８Ｃ　第３指節部
８３ＣＡ、８４ＣＡ、８５ＣＡ、８６ＣＡ、８７ＣＡ、８８ＣＡ　指先部
８３ＣＢ、８４ＣＢ、８５ＣＢ、８６ＣＢ、８７ＣＢ、８８ＣＢ　指先基部
８３Ｄ、８４Ｄ、８５Ｄ、８６Ｄ、８７Ｄ、８８Ｄ　第１指関節部
８３Ｅ、８４Ｅ、８５Ｅ、８６Ｅ、８７Ｅ、８８Ｅ　第２指関節部
８３Ｆ、８４Ｆ、８５Ｆ、８６Ｆ、８７Ｆ、８８Ｆ　第３指関節部
８３Ｇ、８４Ｇ、８５Ｇ、８６Ｇ、８７Ｇ、８８Ｇ　指元ヨーク部
30
８３Ｈ、８４Ｈ、８５Ｈ、８６Ｈ、８７Ｈ、８８Ｈ　指部第１モータ
８３Ｊ、８４Ｊ、８５Ｊ、８６Ｊ、８７Ｊ、８８Ｊ　第１ウォーム
８３Ｋ、８４Ｋ、８５Ｋ、８６Ｋ、８７Ｋ、８８Ｋ　第１ウォームホイール
８３Ｌ、８４Ｌ、８５Ｌ、８６Ｌ、８７Ｌ、８８Ｌ　指部第２モータ
８３Ｍ、８４Ｍ、８５Ｍ、８６Ｍ、８７Ｍ、８８Ｍ　第２ウォーム
８３Ｎ、８４Ｎ、８５Ｎ、８６Ｎ、８７Ｎ、８８Ｎ　第２ウォームホイール
８３Ｐ、８４Ｐ、８５Ｐ、８６Ｐ、８７Ｐ、８８Ｐ　第３指節駆動歯車
８３Ｑ、８４Ｑ、８５Ｑ、８６Ｑ、８７Ｑ、８８Ｑ　部分ギヤ
８３Ｒ、８４Ｒ、８５Ｒ、８６Ｒ、８７Ｒ、８８Ｒ　アイドラギヤ
８３ＳＡ、８４ＳＡ、８５ＳＡ、８６ＳＡ、８７ＳＡ、８８ＳＡ　アイドラ外ギヤ
40
８３ＳＢ、８４ＳＢ、８５ＳＢ、８６ＳＢ、８７ＳＢ、８８ＳＢ　アイドラ内ギヤ
８３Ｔ、８４Ｔ、８５Ｔ、８６Ｔ、８７Ｔ、８８Ｔ　第１ギヤヘッド
８３Ｕ、８４Ｕ、８５Ｕ、８６Ｕ、８７Ｕ、８８Ｔ　第２ギヤヘッド
８３Ｖ、８４Ｖ、８５Ｖ、８６Ｖ　第１モータ固定部
８８Ｗ　手幅指元部
８３Ｘ、８４Ｘ、８５Ｘ、８６Ｘ、８８Ｘ　第１指節カバー
８３Ｙ、８４Ｙ、８５Ｙ、８６Ｙ、８８Ｙ　第２指節カバー
８３Ｚ、８４Ｚ、８５Ｚ、８６Ｚ、８８Ｚ　第２ウォームカバー

９１　手首板部
50

９８　手部取付部
９８Ａ　取付板部
９８Ｂ　掌板接続部
９２　掌板部（基部）
９３　第１指部（普通指部）
９４　第２指部（普通指部）
９５　第３指部（普通指部）
９６　第４指部（普通指部）
９７　対向可能指部
９７Ｔ　第１指節元部
９７Ｕ　第１指節先部
９３Ａ、９４Ａ、９５Ａ、９６Ａ、９７Ａ　第１指節部
９３Ｂ、９４Ｂ、９５Ｂ、９６Ｂ、９７Ｂ　第２指節部
９３Ｃ、９４Ｃ、９５Ｃ、９６Ｃ、９７Ｃ　第３指節部
９３Ｄ、９４Ｄ、９５Ｄ、９６Ｄ、９７Ｄ　第１指関節部
９３Ｅ、９４Ｅ、９５Ｅ、９６Ｅ、９７Ｅ　第２指関節部
９３Ｆ、９４Ｆ、９５Ｆ、９６Ｆ、９７Ｆ　第３指関節部
９３Ｇ、９４Ｇ、９５Ｇ、９６Ｇ、９７Ｇ　指元ヨーク部
９３Ｈ、９４Ｈ、９５Ｈ、９６Ｈ、９７Ｈ　指部第１モータ
９３Ｊ、９４Ｊ、９５Ｊ、９６Ｊ、９７Ｊ　第１ウォーム
９３Ｋ、９４Ｋ、９５Ｋ、９６Ｋ、９７Ｋ　第１ウォームホイール
９３Ｌ、９４Ｌ、９５Ｌ、９６Ｌ、９７Ｌ　指部第２モータ
９３Ｍ、９４Ｍ、９５Ｍ、９６Ｍ、９７Ｍ　第２ウォーム
９３Ｎ、９４Ｎ、９５Ｎ、９６Ｎ、９７Ｎ　第２ウォームホイール
９３Ｐ、９４Ｐ、９５Ｐ、９６Ｐ、９７Ｐ　第３指節駆動歯車
９３Ｑ、９４Ｑ、９５Ｑ、９６Ｑ、９７Ｑ　アイドラギヤ
９３Ｒ、９４Ｒ、９５Ｒ、９６Ｒ、９７Ｒ　アイドラギヤ
９３Ｓ、９４Ｓ、９５Ｓ、９６Ｓ、９７Ｓ　アイドラギヤ

Ｊ１　胸側主リンク取付部
Ｊ２　胸側補助リンク取付部
Ｊ３　下側胸部内リンク取付部
Ｊ４　上側胸部内リンク取付部
Ｊ５　胸部中央リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ６　胸部右リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ７　胸部左リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ８　腰部右リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ９　腰部左リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ１０　腰部中央リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ１１　股部正面リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ１２　股部外側リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ１３　股部内側リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ１４　首部背面リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ１５　首部右側リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ１６　首部左側リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ１７　頭部背面リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ１８　頭部右側リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ１９　頭部左側リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ２０　上腕部主リンク取付部
Ｊ２１　主リンク側補助リンク取付部

Ｊ２２　上腕部外側リンク取付部（上腕側リンク取付部）
Ｊ２３　上腕部内側リンク取付部（上腕側リンク取付部）
Ｊ２４　肘部駆動内側リンク取付部（前腕側主リンク取付部）
Ｊ２５　肘部駆動外側リンク取付部（主リンク側補助リンク取付部）
Ｊ２６　前腕部正面リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ２７　前腕部外側リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ２８　肘部駆動内側リンク取付部（第１部材側リンク取付部）
Ｊ２９　手部側正面リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ３０　手部側外側リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ３１　手部側内側リンク取付部（第２部材側リンク取付部）　　10
Ｊ３２　膝部正面リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ３３　膝部外側リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ３４　膝部内側リンク取付部（第２部材側リンク取付部）
Ｊ３５　膝部駆動リンク取付部
Ｊ３６　大腿部側補助具取付部
Ｊ３７　膝部駆動リンク補助具接続部
Ｊ３８　下腿部側補助具取付部
Ｊ３９　下腿部外側リンク取付部（下腿部側リンク取付部）
Ｊ４０　下腿部内側リンク取付部（下腿部側リンク取付部）
Ｊ４１　足部外側リンク取付部（足部側リンク取付部）　　20
Ｊ４２　足部内側リンク取付部（足部側リンク取付部）
Ｊ４３　足本体部側リンク取付部
Ｊ４４　つま先部側リンク取付部

Ｃ１　胸屈曲部
Ｃ２　胴体屈曲部（３回転自由度接続機構）
Ｃ３　首部（３回転自由度接続機構）
Ｃ４　肩部
Ｃ５　肘部
Ｃ６　手首部（３回転自由度接続機構）　　30
Ｃ７　股部（３回転自由度接続機構）
Ｃ８　膝部
Ｃ９　足首部
Ｃ１０　足内屈曲部
Ｇ１、Ｇ２、Ｇ３　捻り軸
Ｌ１、Ｌ２、Ｌ３　可変長リンク
Ｔ１、Ｔ２、Ｔ３、Ｔ４　第２部材側三角形
Ｒx1　肩関節部１３の回転軸
Ｒz2　肘関節部２２の回転軸

【図５】

100
2
5
13
R_{x1}
ξ1
X
y
z
x
12

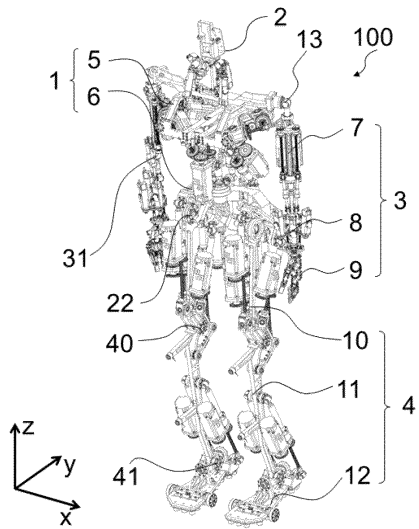
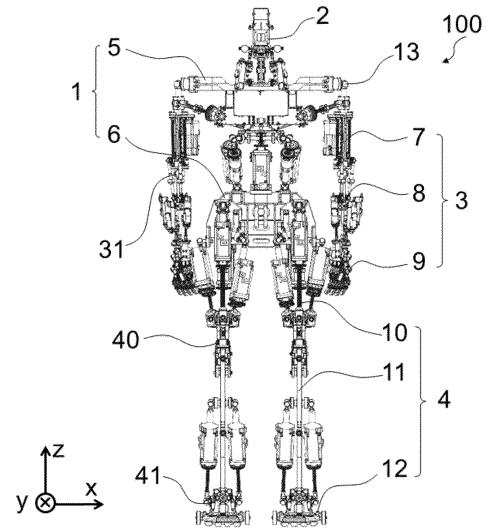
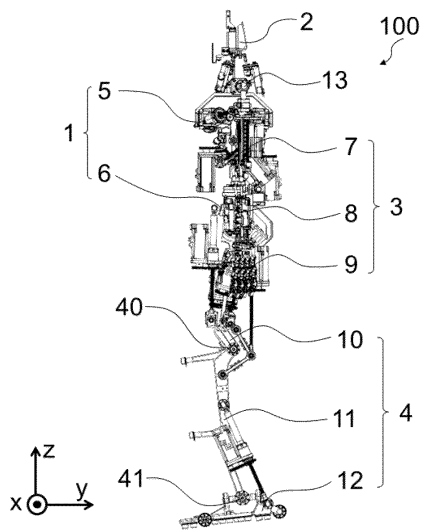
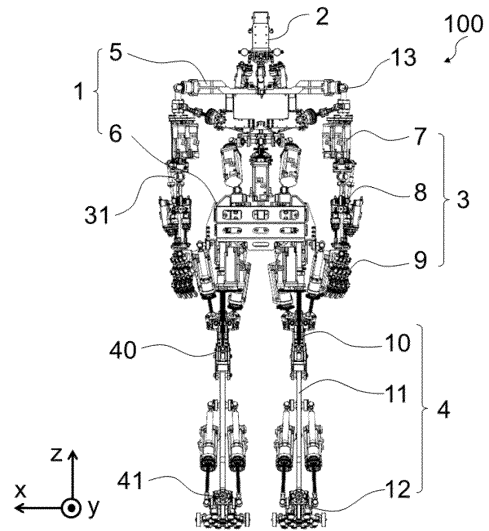
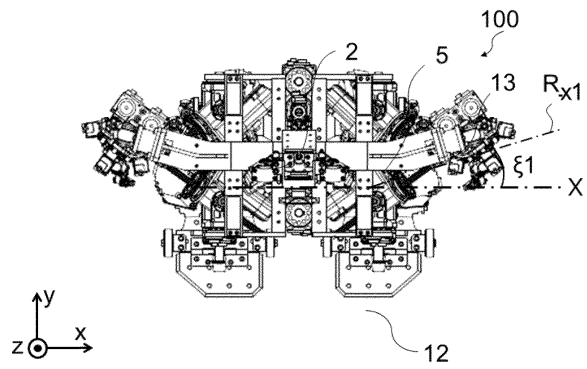
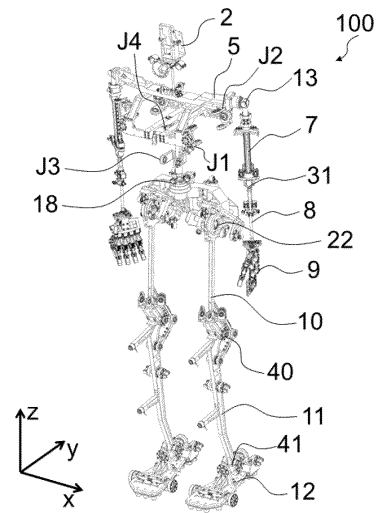
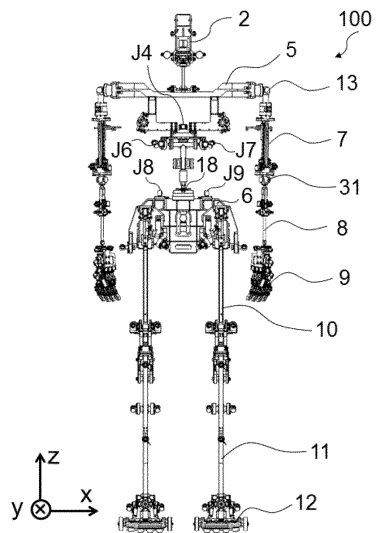
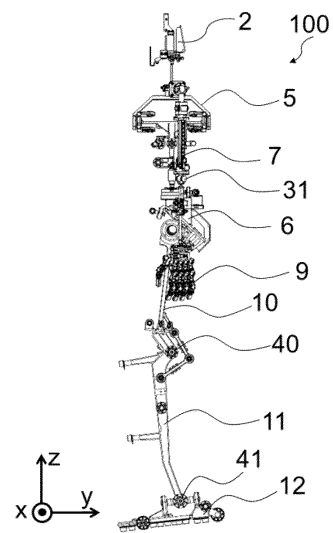
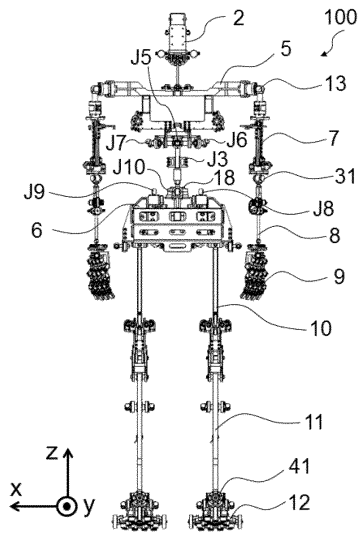
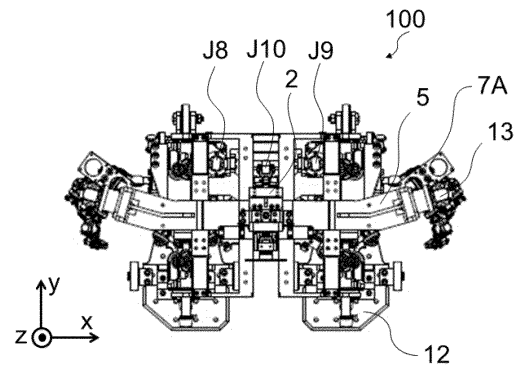
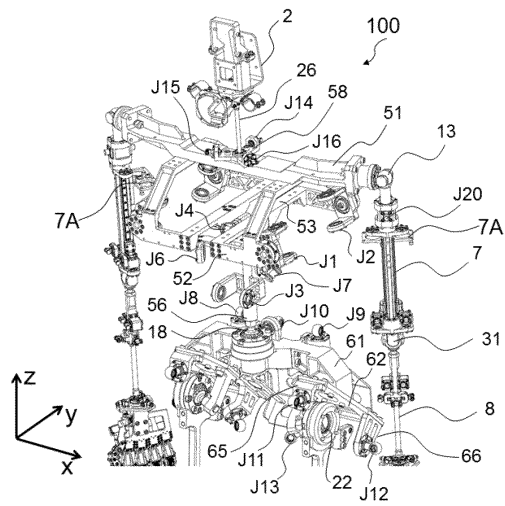
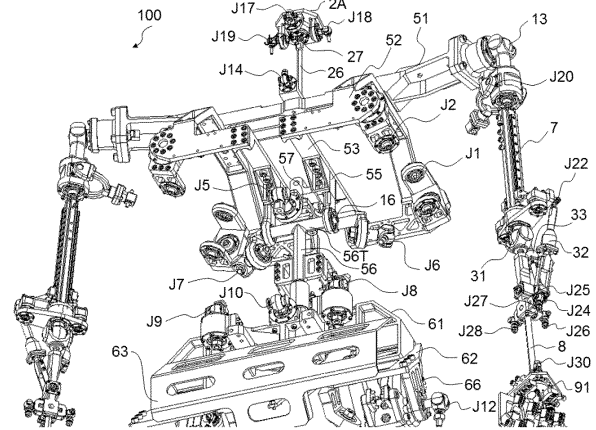
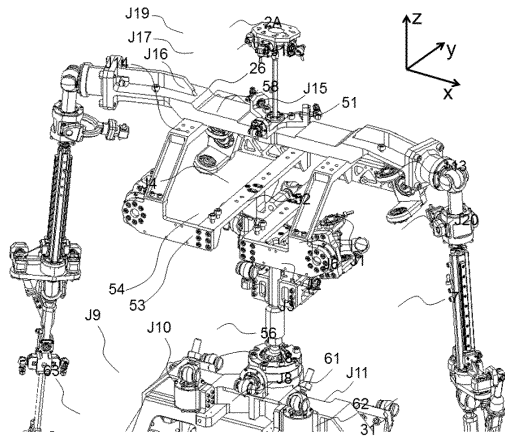
【図６】

2
100
J4
5
J2
13
7
J3
J1
31
18
8
22
9
10
40
z
y
11
41
x
12

【図７】

2
100
J4
5
13
J6
J7
7
J8
18
J9
6
31
8
9
10
11
z
y
x
12

【図８】

2
100
5
7
31
6
9
10
40
11
41
12
z
x
y

【図９】

【図１０】

【図１１】

【図１２】

【図１３】

【図１４】

【図１５】

【図１６】

【図１７】

【図１８】

【図１９】

【図２０】

【図２１】

【図２２】

【図２３】

【図２４】

【図２５】

【図２６】

【図２７】

【図２８】

【図２９】

【図３０】

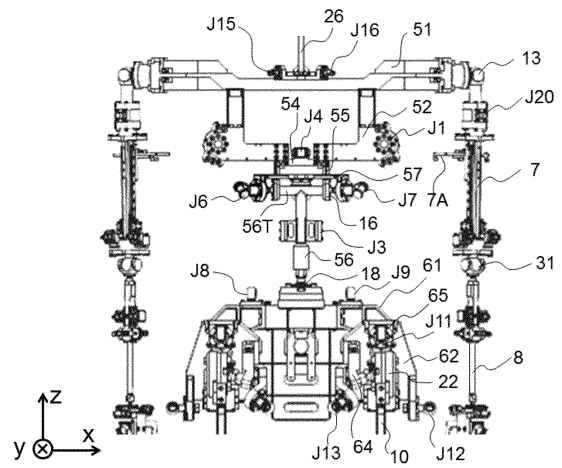
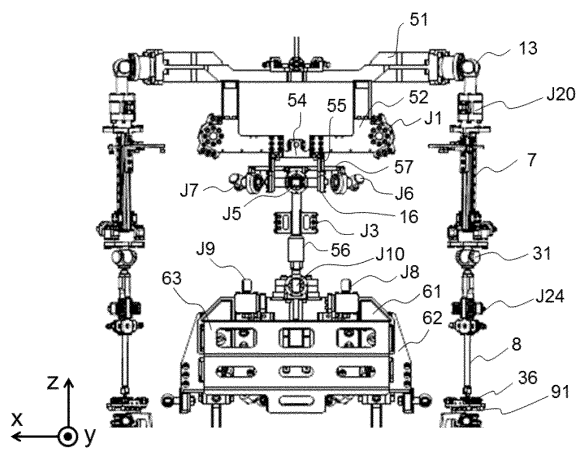
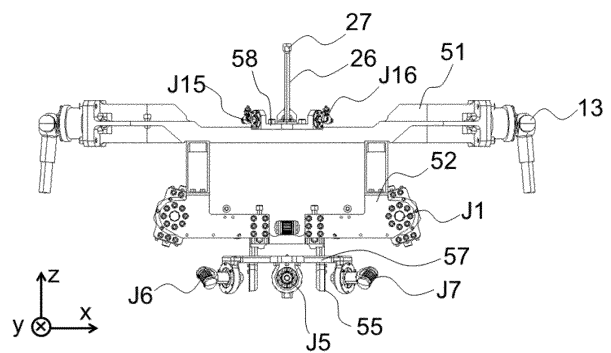
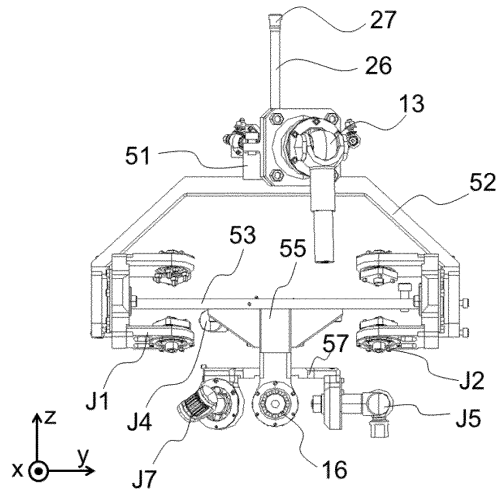
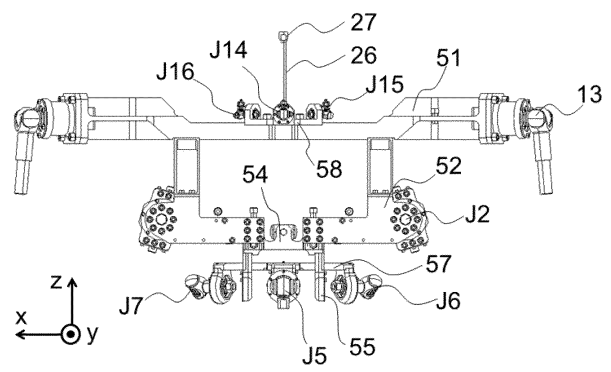
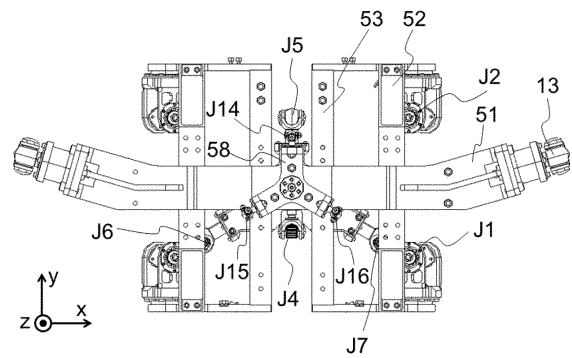
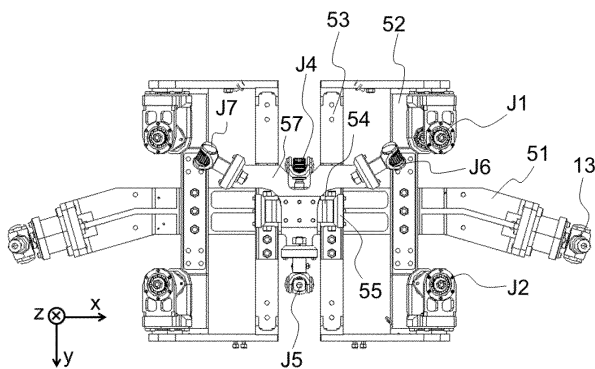
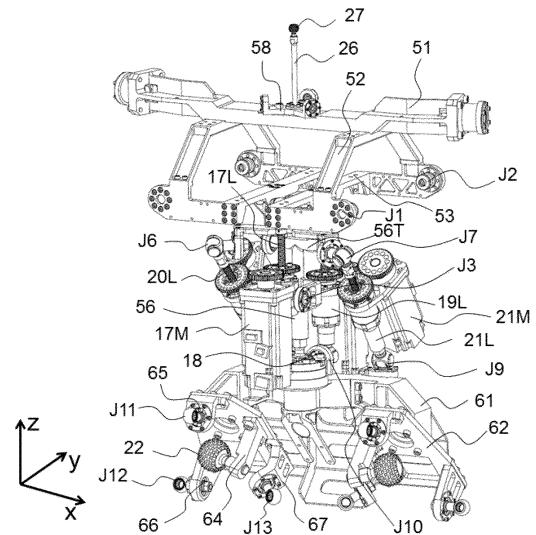
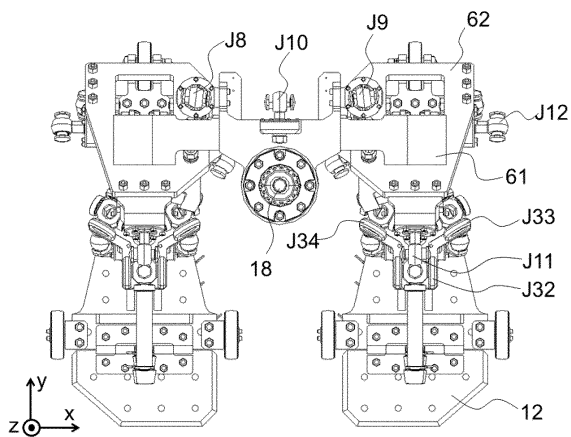
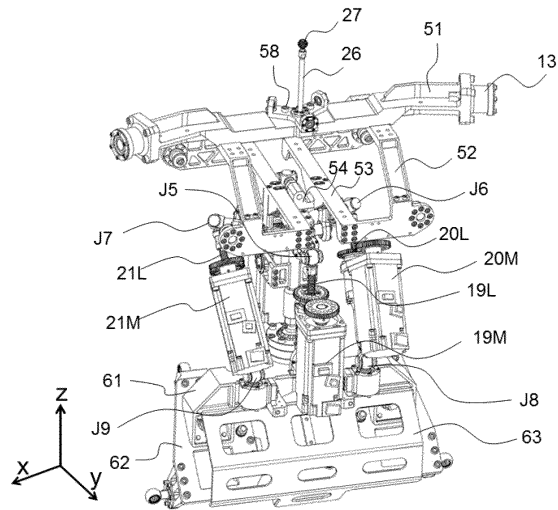
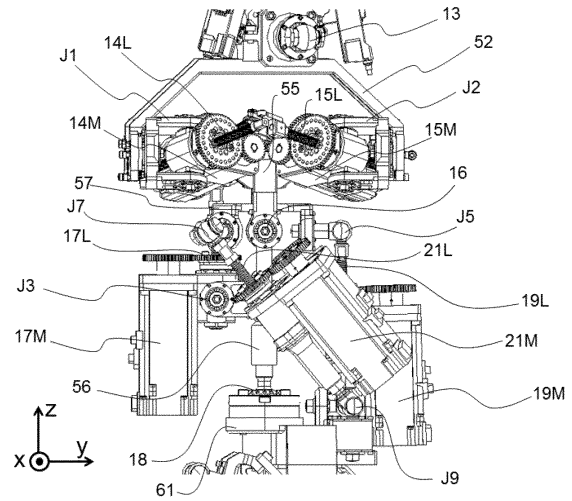
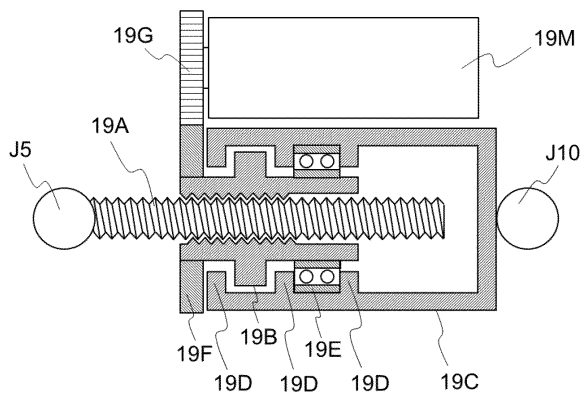
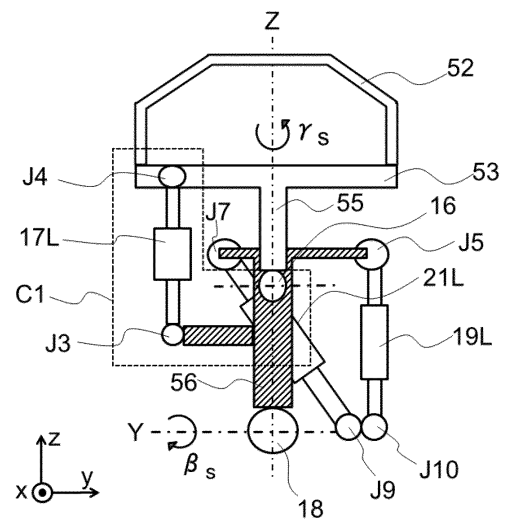
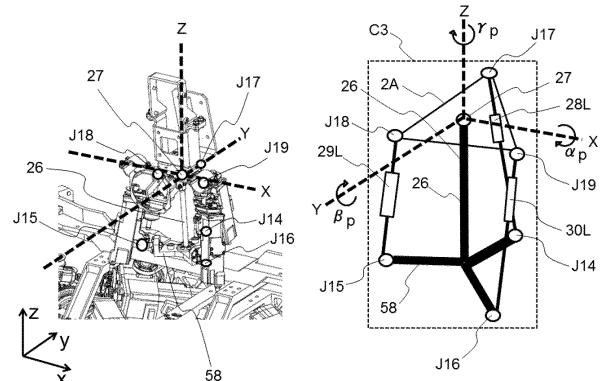
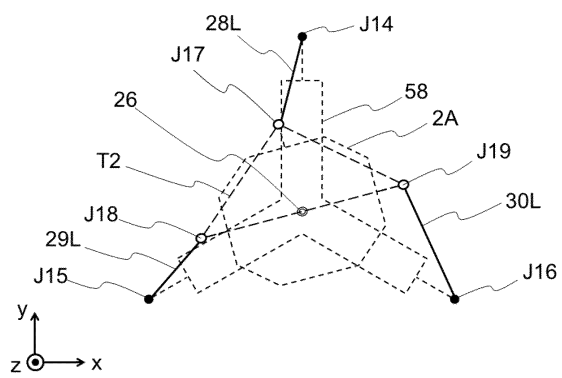
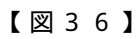
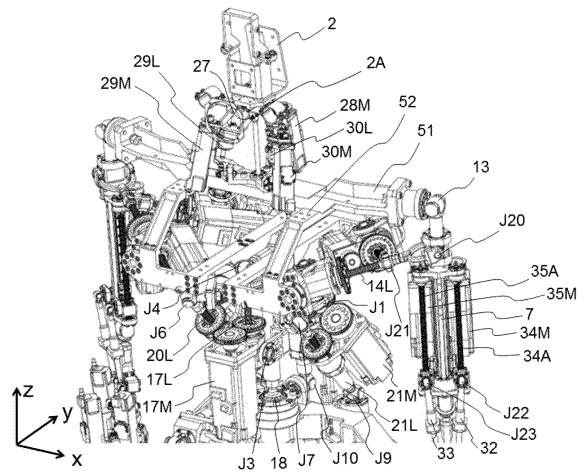
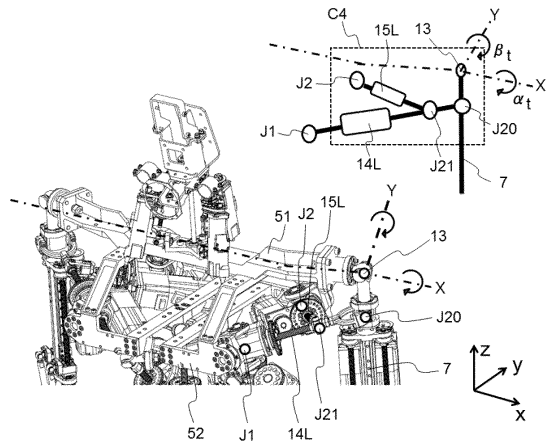
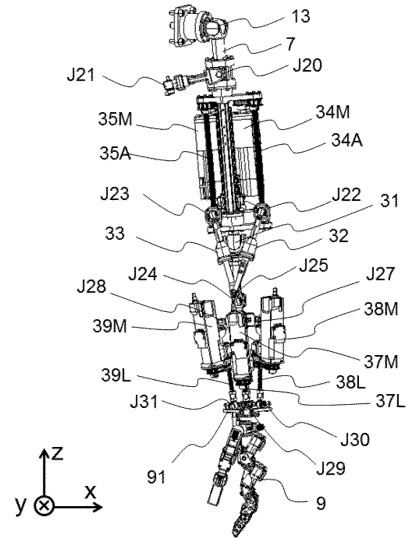
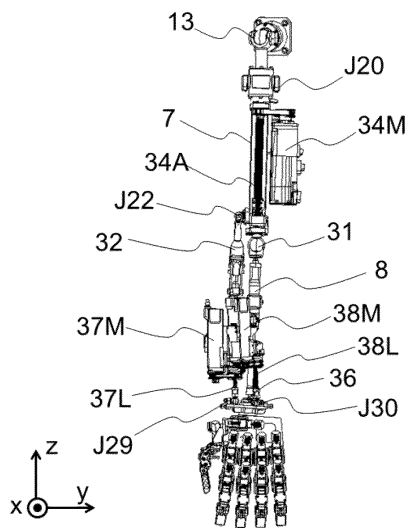
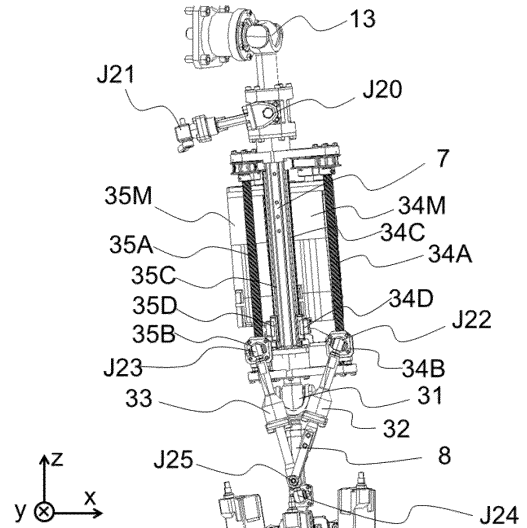
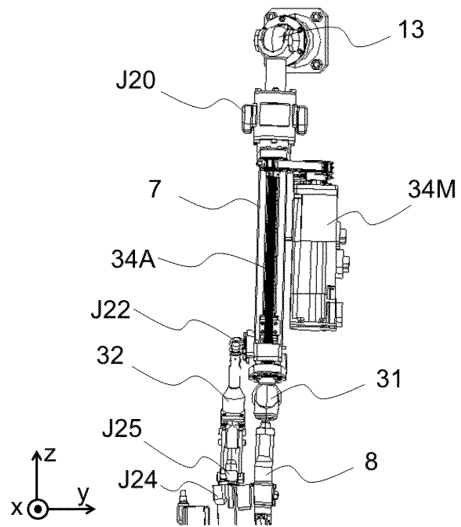
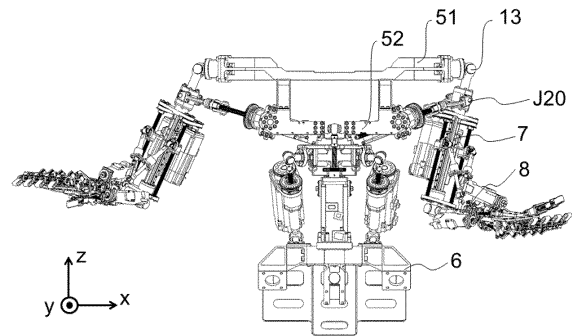
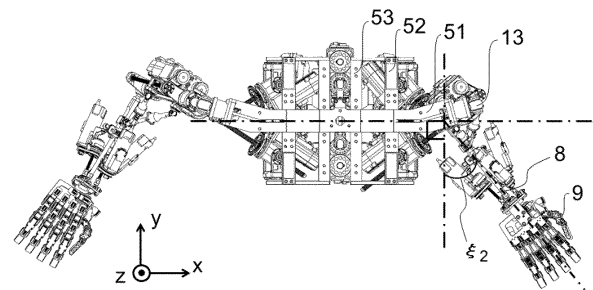
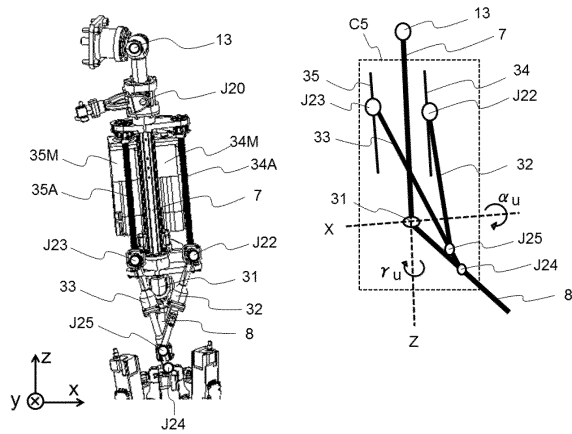
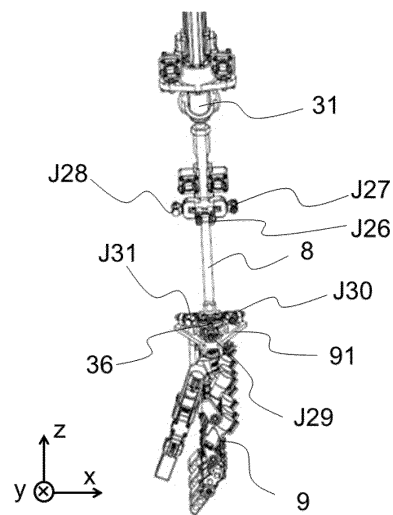
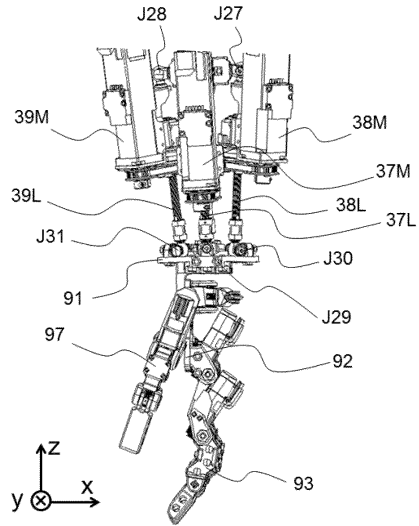
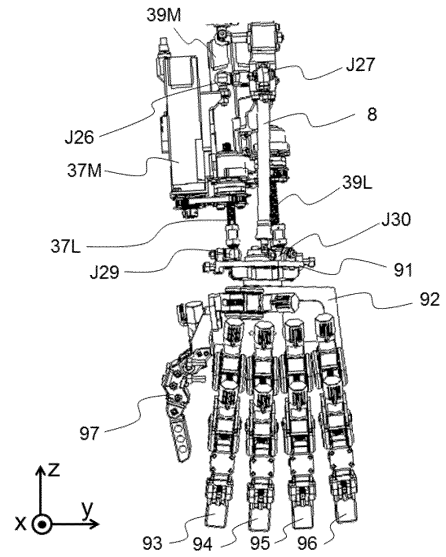
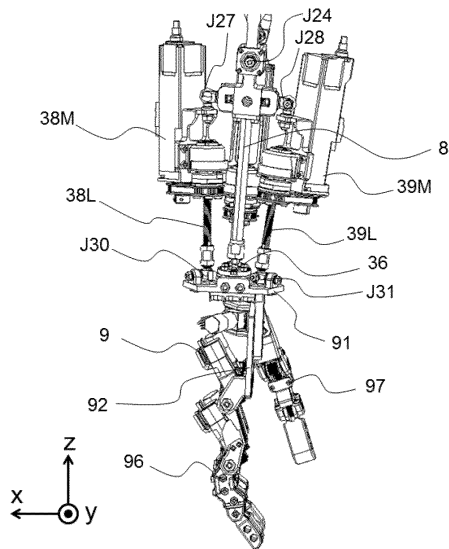
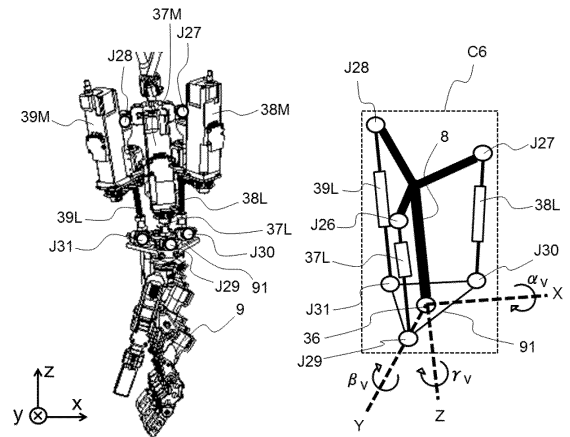
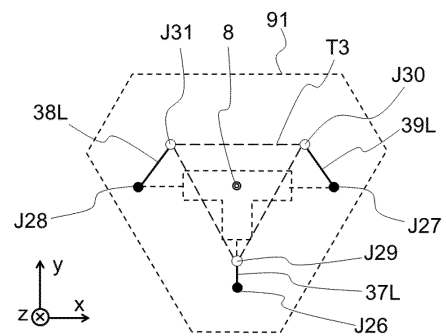
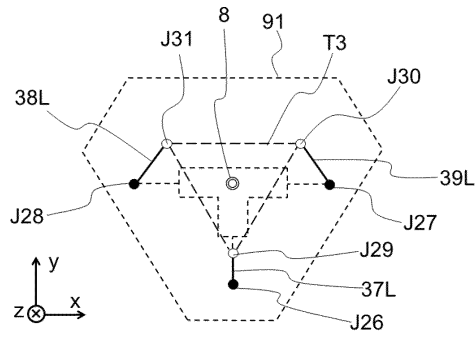
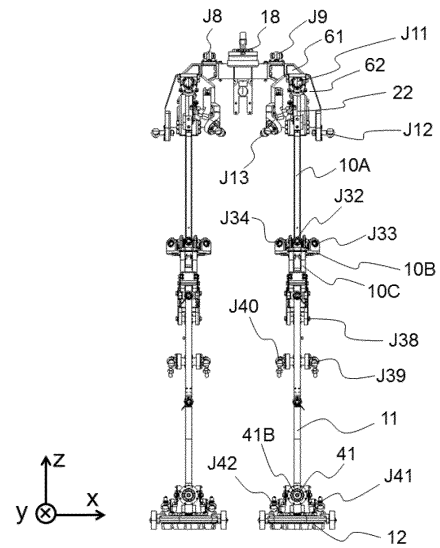
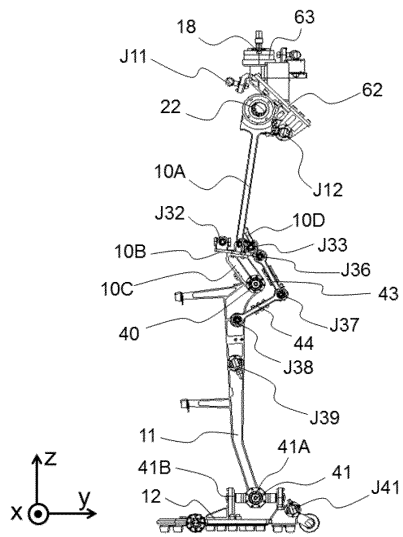
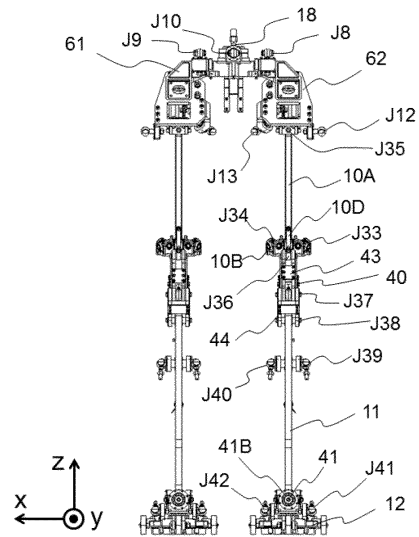
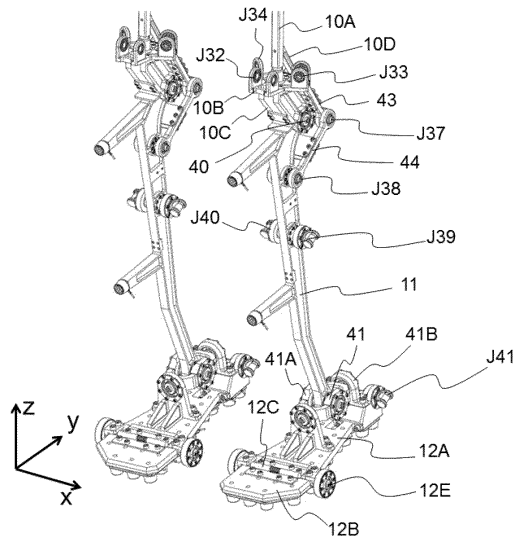
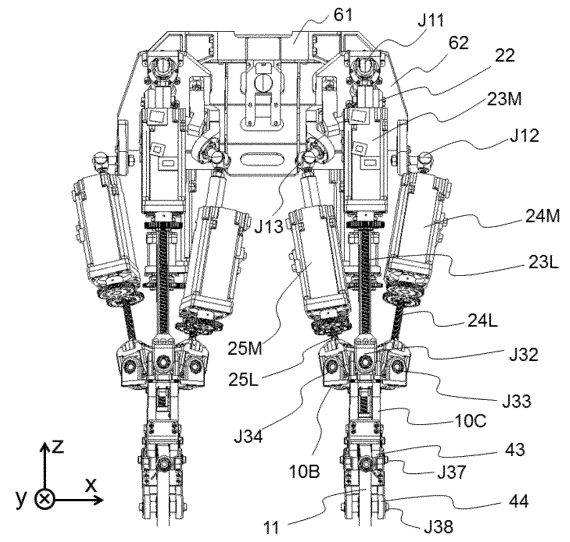
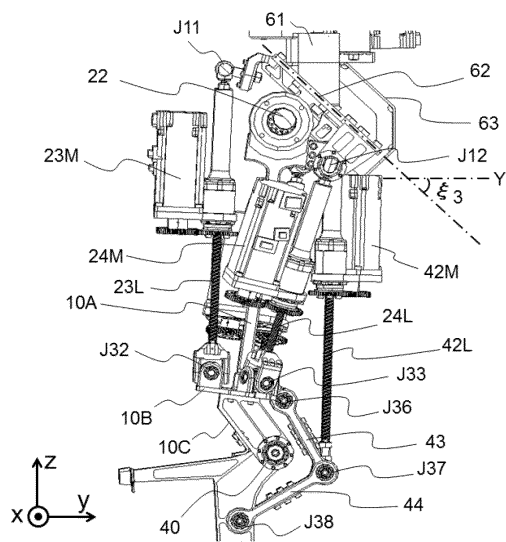
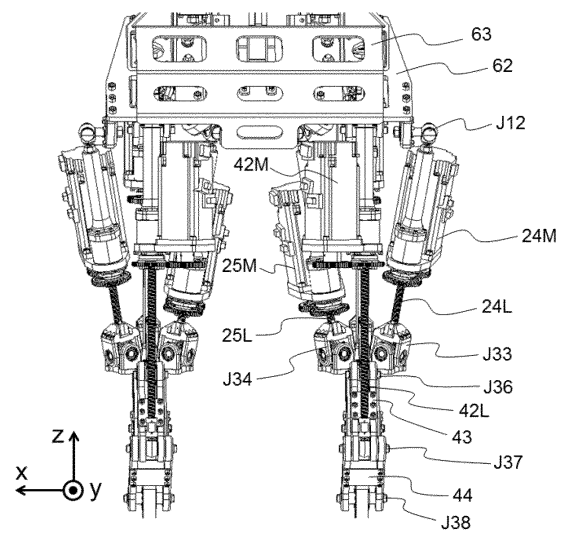
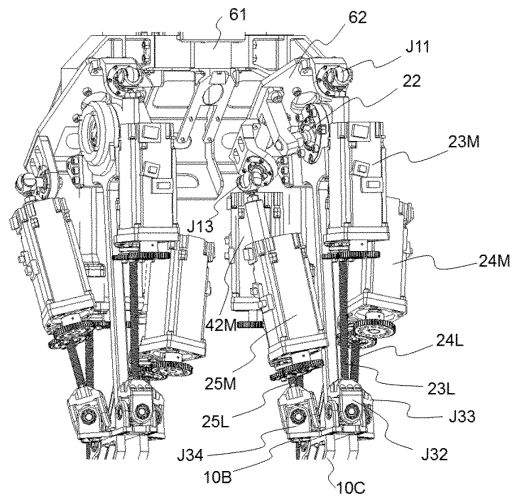
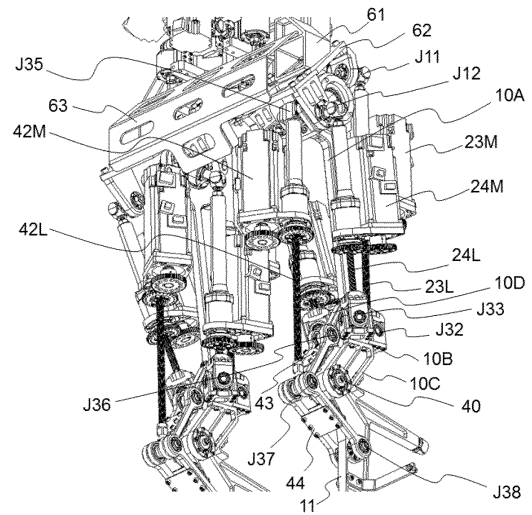
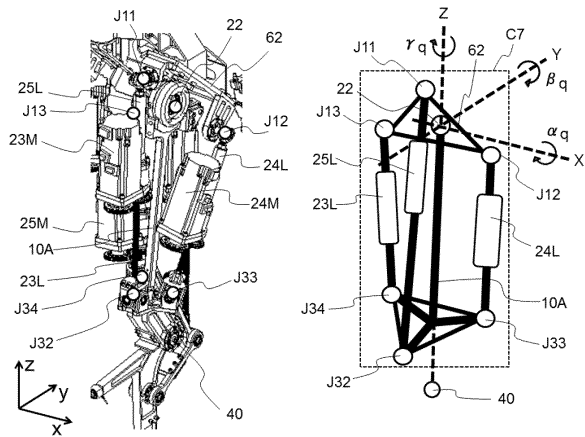
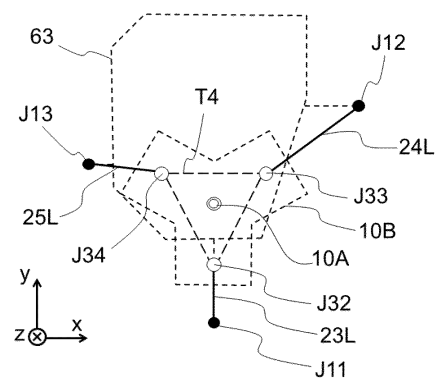
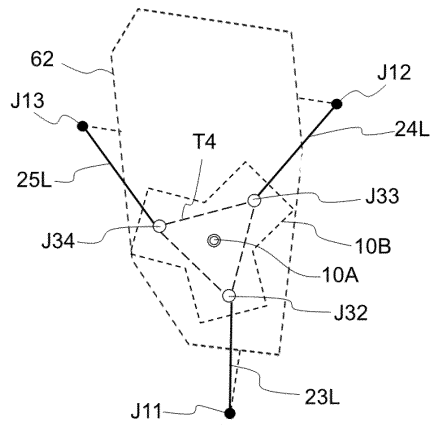
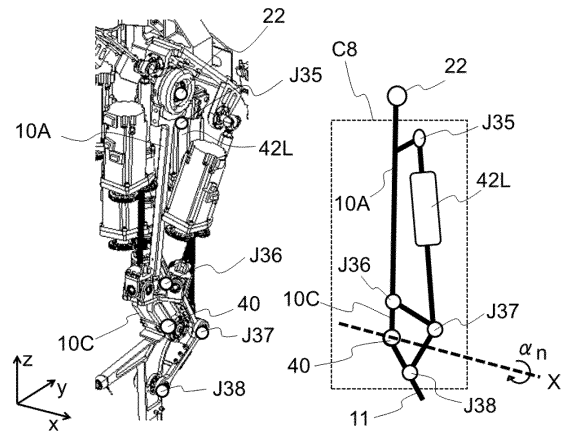
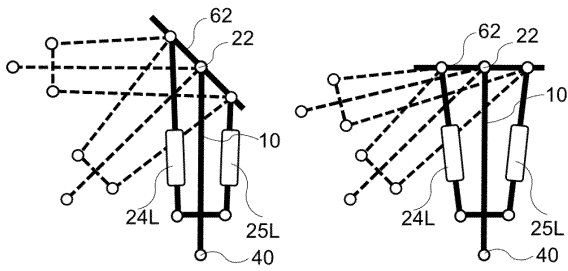
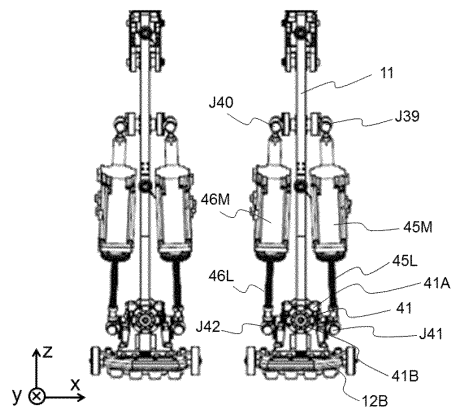
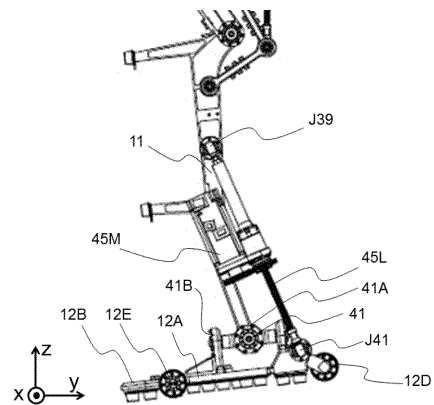
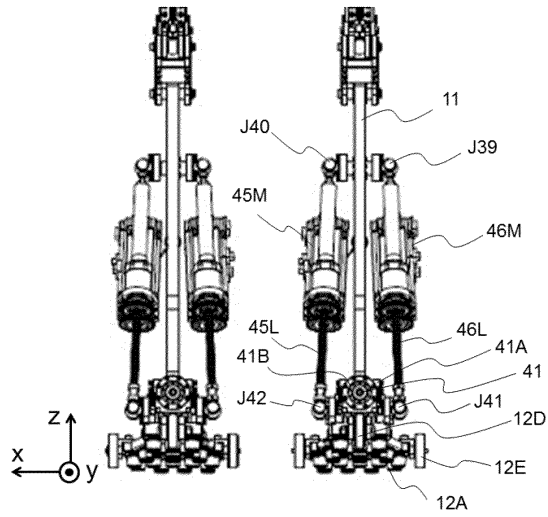
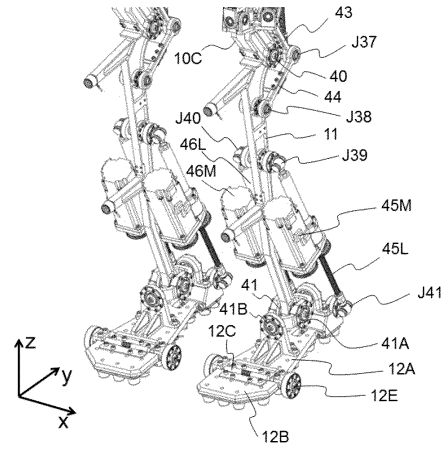
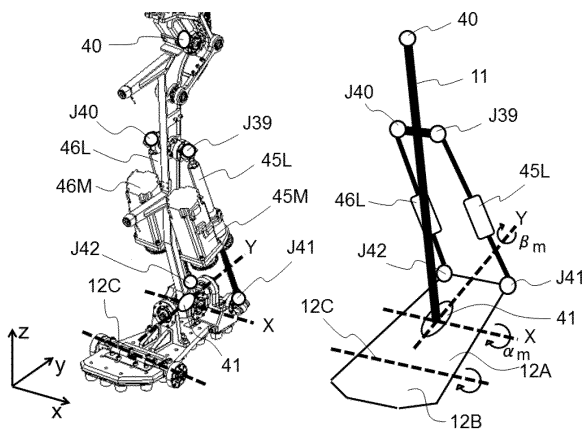
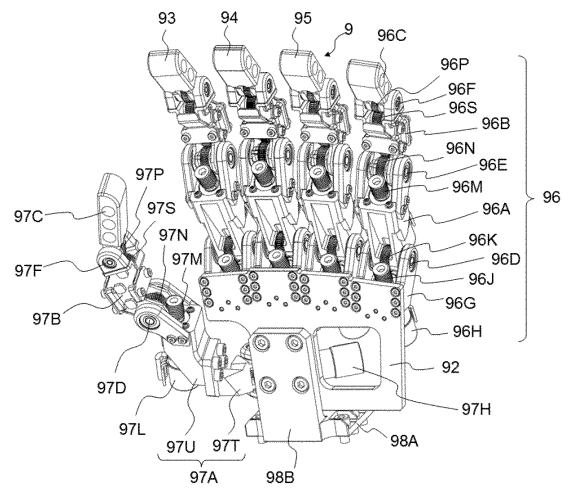
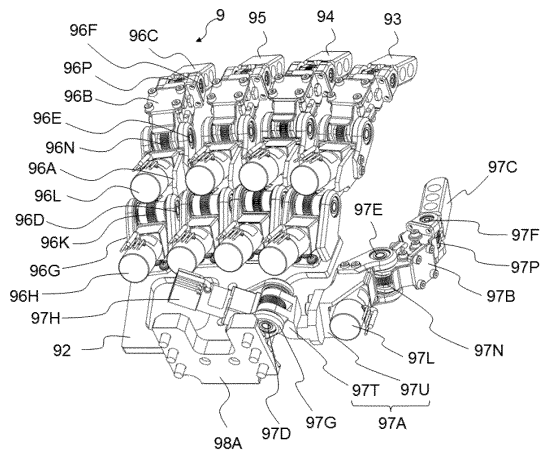
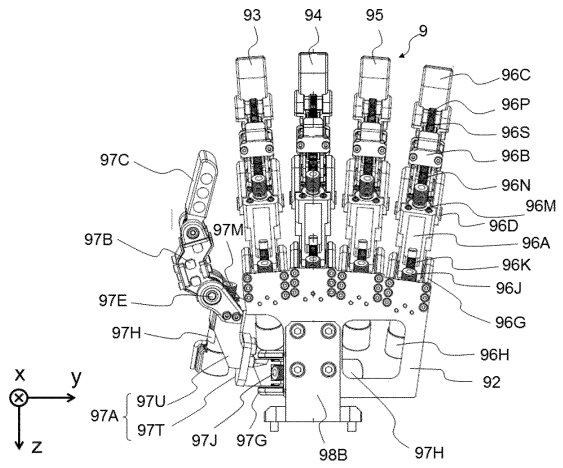
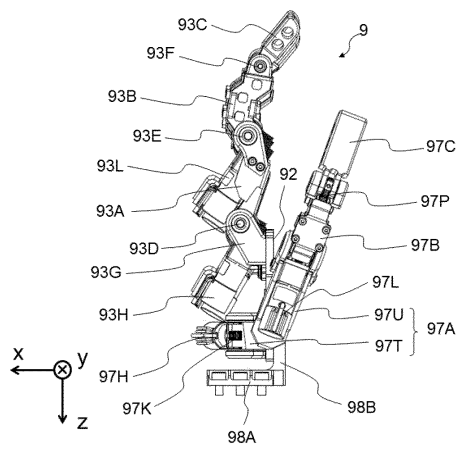
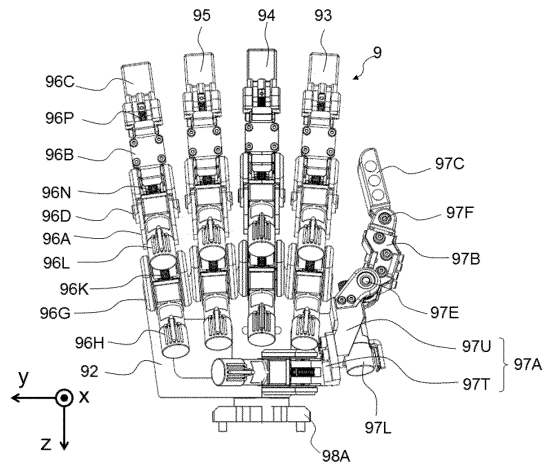
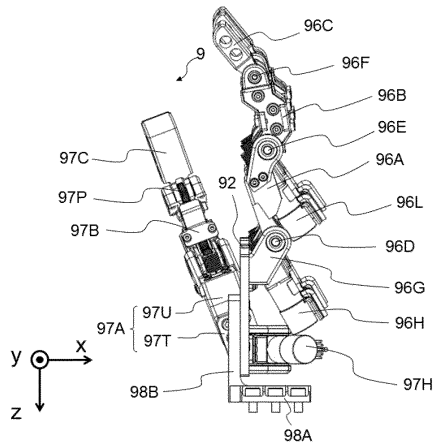
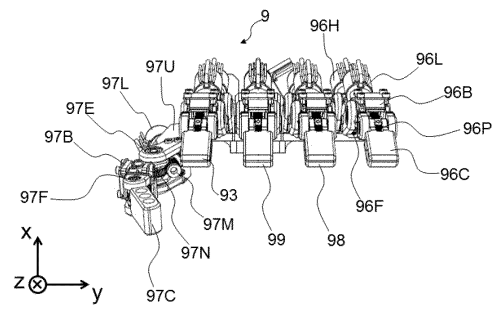
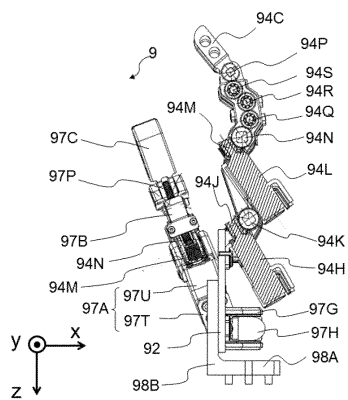
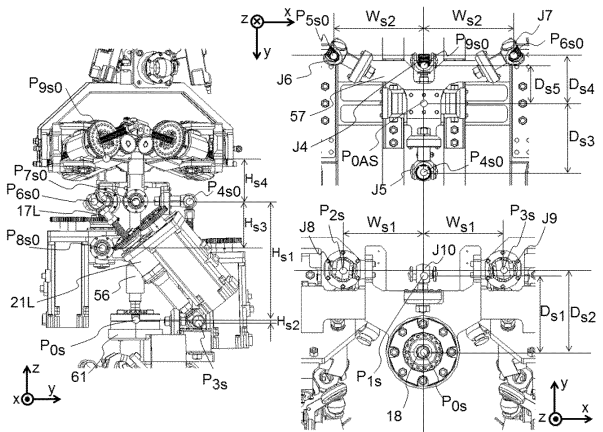
【図３１】

【図３２】

【図３３】

【図３４】

【図３５】

【図３６】

【図３７】

【図３８】

【図３９】

【図４０】

【図４１】

【図４２】

【図４３】

【図４４】

【図４５】

【図４６】

【図４７】

【図４８】

【図４９】

【図５０】

【図５１】

【図５２】

【図５３】

【図５４】

【図５５】

【図５６】

【図５７】

【図５８】

【図５９】

【図６０】

【図６１】

【図６２】

【図６３】

【図６４】

【図６６】

【図６５】

【図６７】

【図６８】

【図６９】

【図７０】

【図７１】

【図７２】

【図７３】

【図７４】

【図７５】

【図７６】

【図７７】

【図７８】

【図７９】

【図８０】

【図８１】

【図８２】

【図８３】

【図８４】

【図８５】

【図８６】

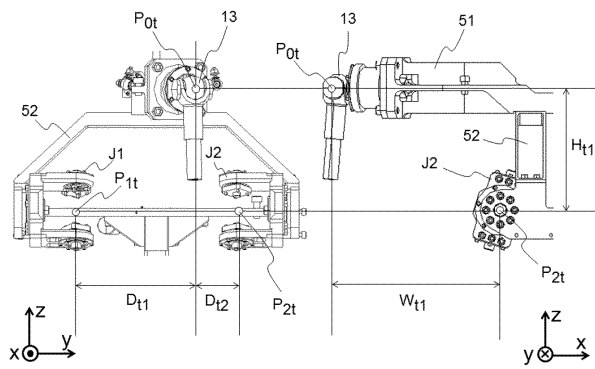
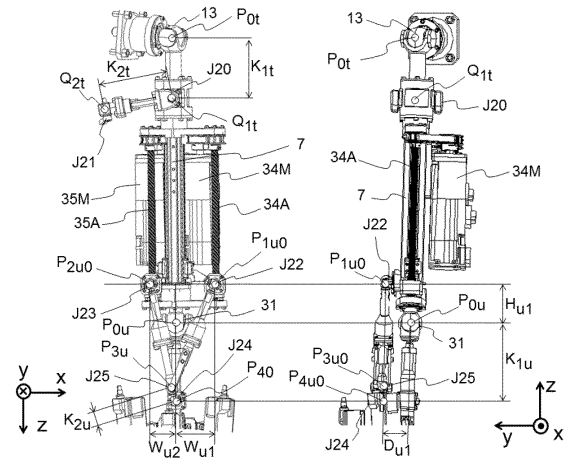
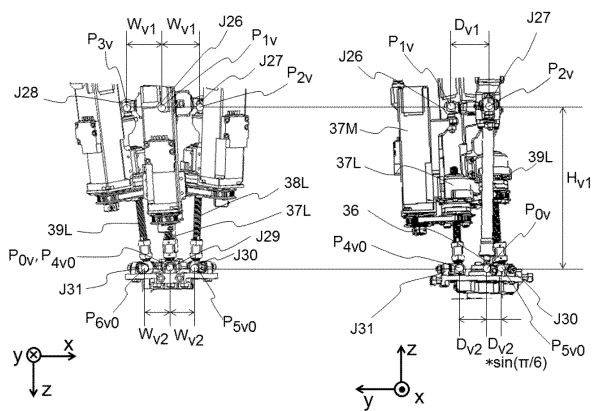
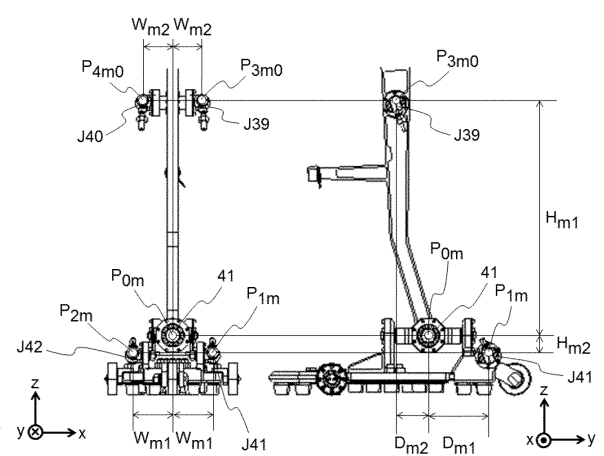
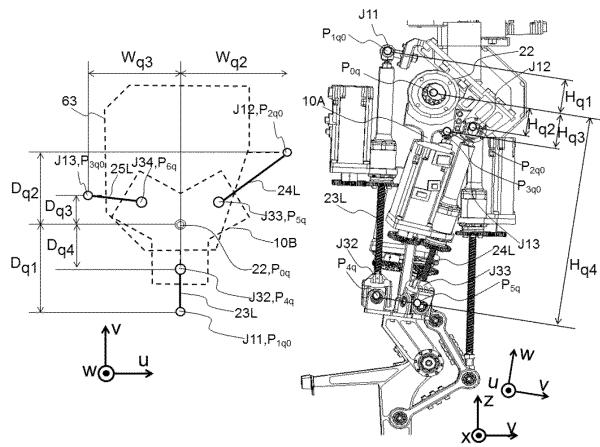
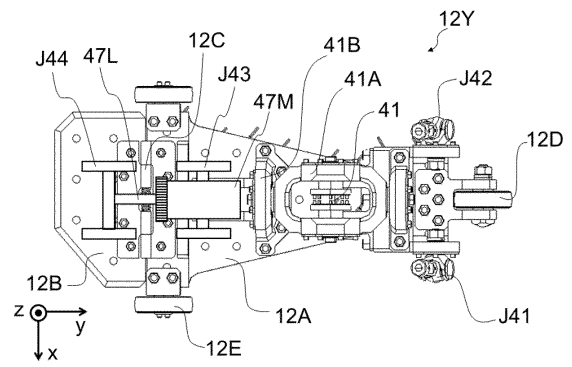
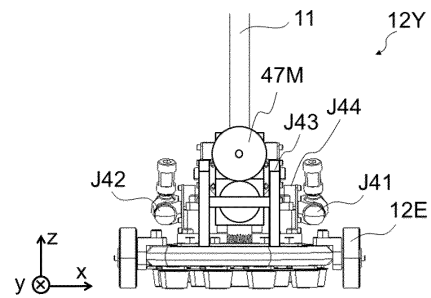
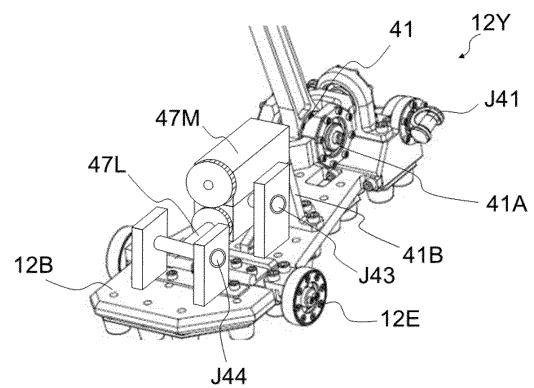
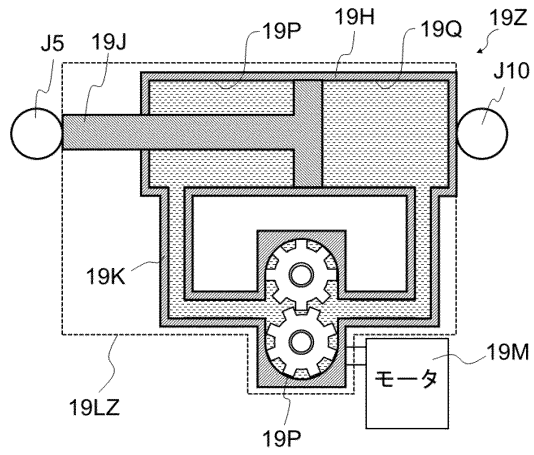
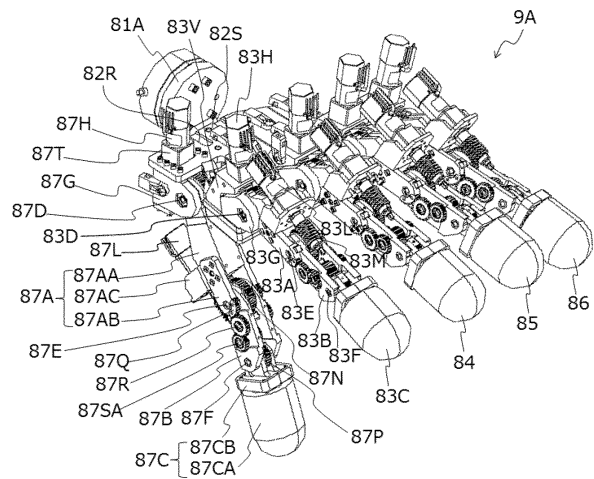
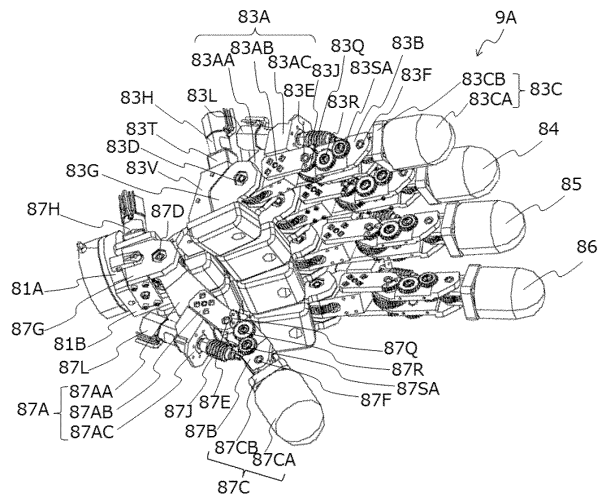
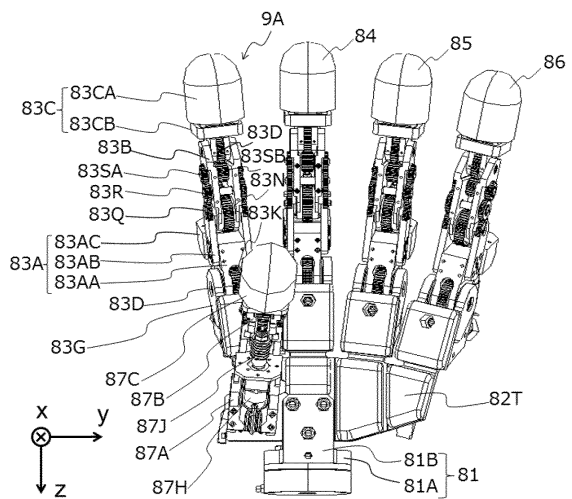
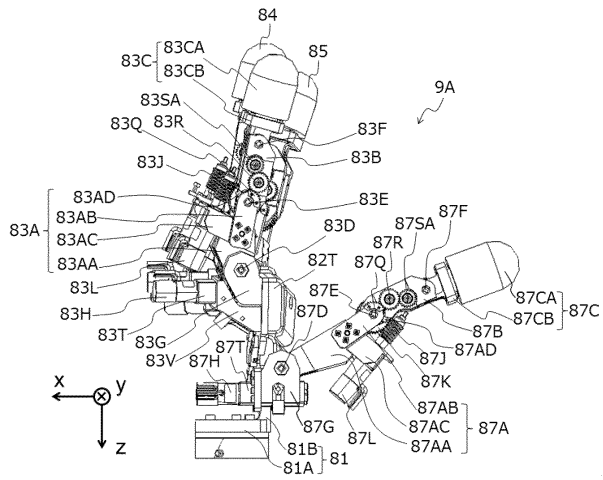
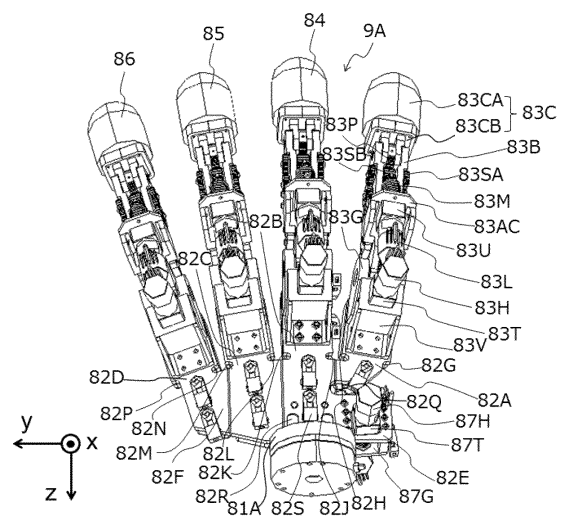
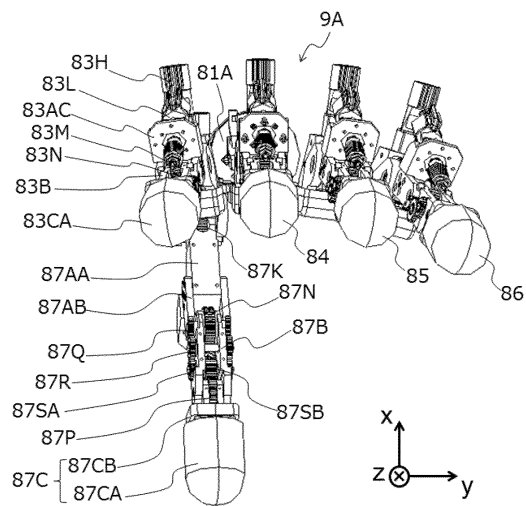
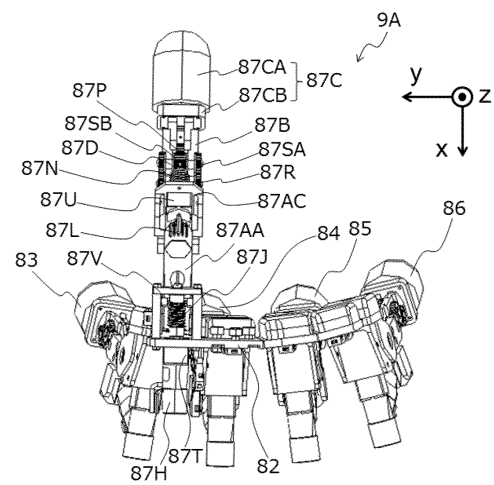
【図８７】

【図８８】

【図８９】

【図９０】

【図９１】

【図９２】

【図９３】

【図９４】

【図９５】

【図９６】

【図９７】

【図９８】 【図９９】

【図１００】 【図１０１】

【図１０２】

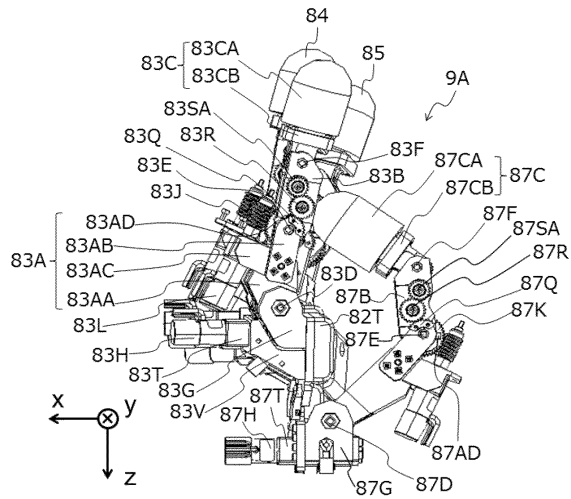
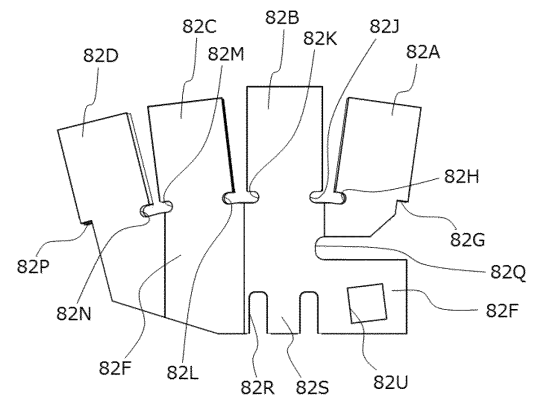
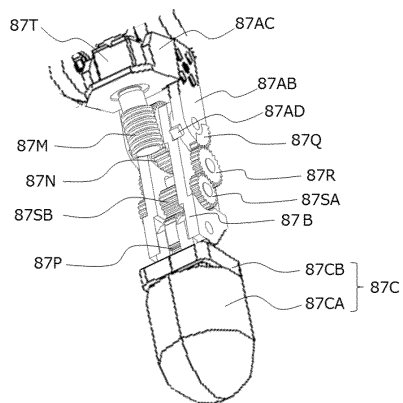
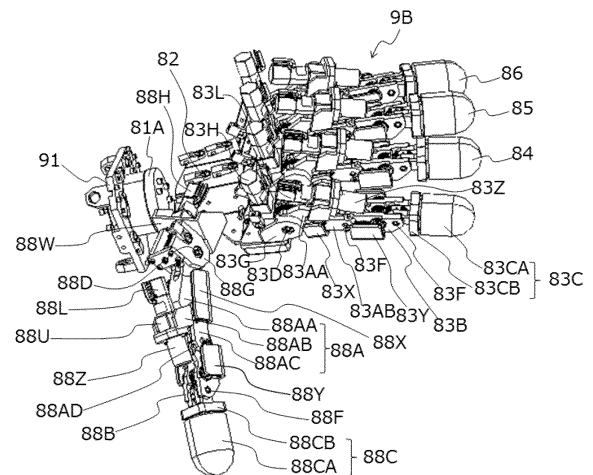
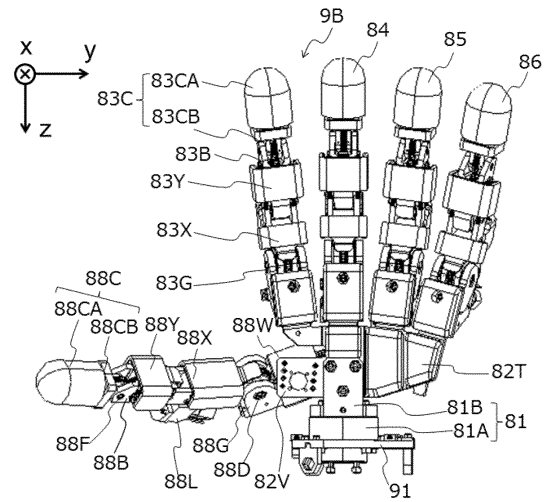
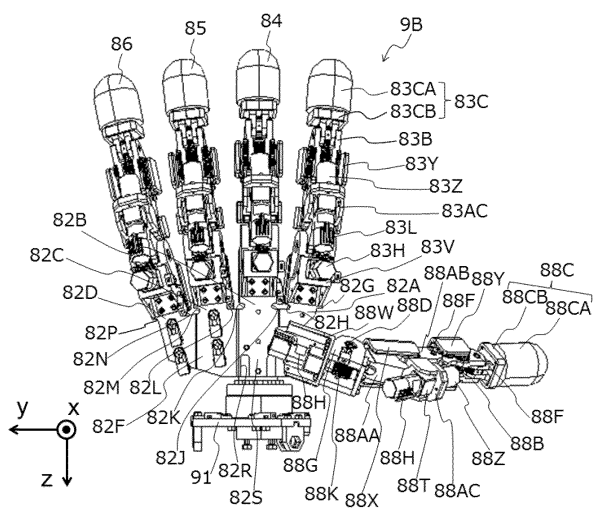
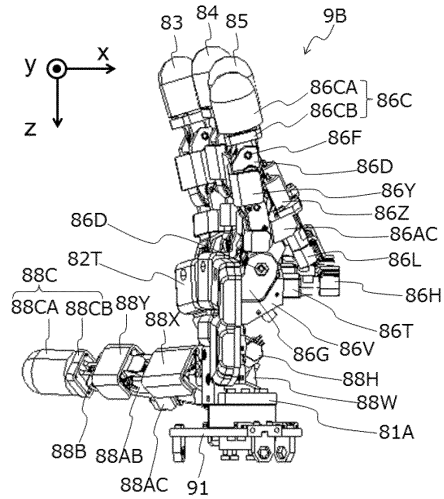
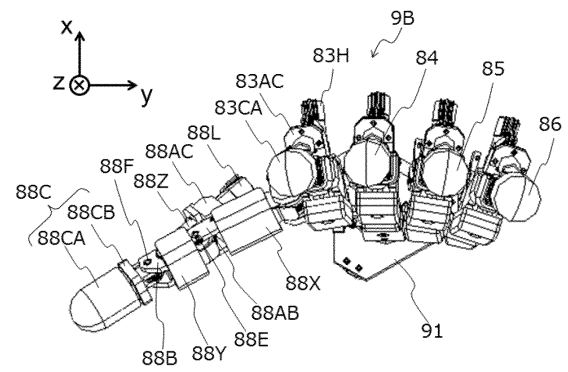
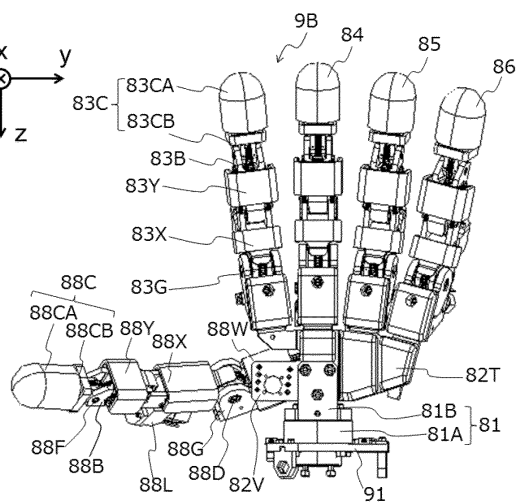
【図１０３】

【図１０４】

【図１０５】

【図１０６】

【図１０７】

【図１０８】

【図１０９】

【図１１０】

【図１１１】

【図１１２】

【図１１３】

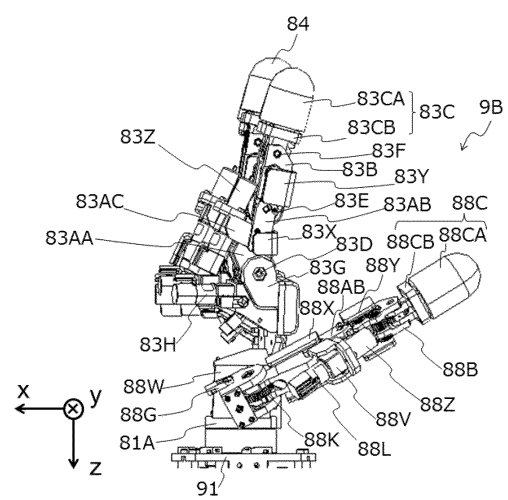
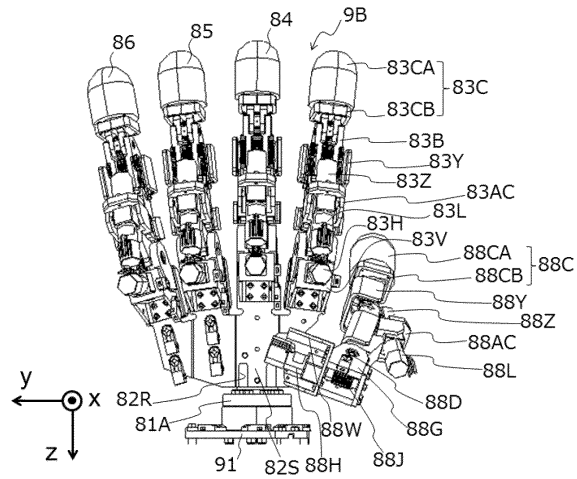
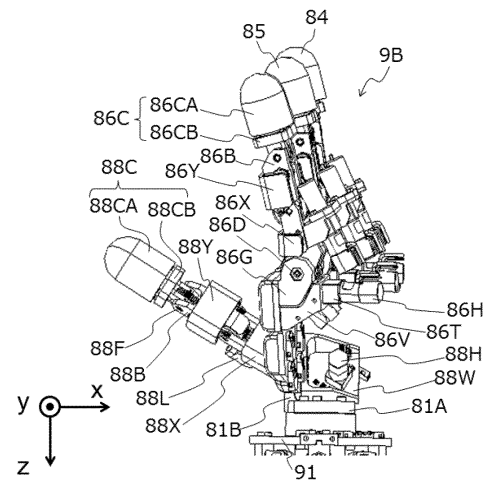
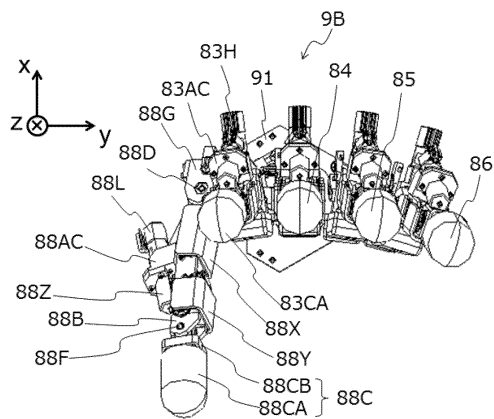
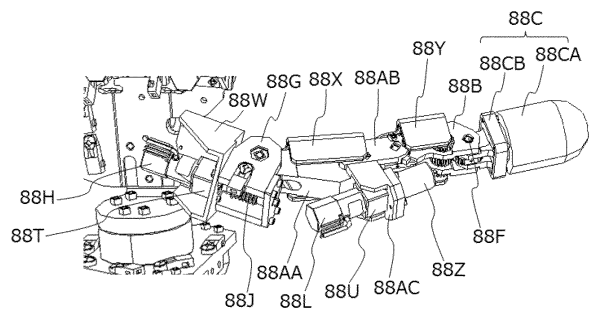
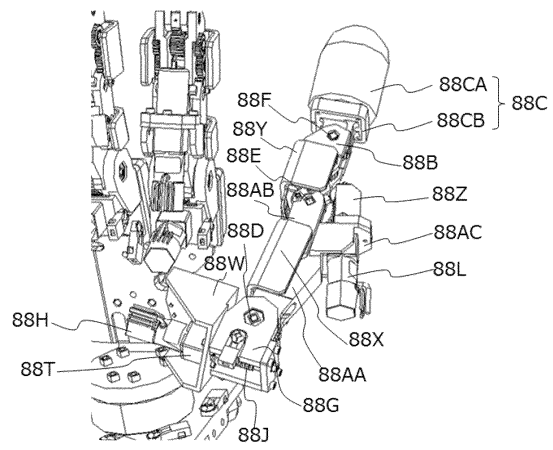
【図１１４】

【図１１５】

【図１１６】

【図１１７】

【図１１８】

88CA
88C
88CB
88F
88Y
88B
88E
88AB
88Z
88AC
88D
88L
88W
88H
88X
88T
88AA
88G
88J

フロントページの続き

(72)発明者　服部　友哉
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　廣瀬　光史
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内

審査官　貞光　大樹

(56)参考文献　国際公開第２０１６／０６８０９８（WO，Ａ１）
国際公開第２０１６／０４３３０２（WO，Ａ１）
特開平１０－９４９８３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ２５Ｊ　　１／００　－　２１／０２
Ｆ１６Ｈ　２１／００　－　２１／５４